

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
KATEDRA INFORMATIKY

Mobilní snímač radiofrekvenčního identifikačního systému

Mobile Radio Frequency Identification Reader System

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ladislav Šimoník**

Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2612T025 Informatika a výpočetní technika

Téma: **Mobilní snímač radiofrekvenčního identifikačního systému**
Mobile Radio Frequency Identification Reader System

Zásady pro vypracování:

Navrhněte a realizujte mobilní RFID snímač pro kontrolní a evidenční systémy, řešení musí obsahovat:

1. Analýzu obvodových řešení základních částí snímače RFID.
2. Analýzu zabezpečení snímaných a přenášených dat.
3. Na základě provedené analýzy navrhněte a realizujte snímač, který umožní čtení dat z čipů Unique (125 kHz) a Mifare (13,56 MHz), jejich uložení a zobrazení pro potřeby obsluhy a zajistí komunikaci s počítačem PC kontrolního a evidenčního systému.
4. Realizovaný snímač experimentálně ověřte.

Seznam doporučené odborné literatury:

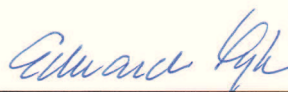
Podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Tesař**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012



doc. Dr. Ing. Eduard Sojka
vedoucí katedry



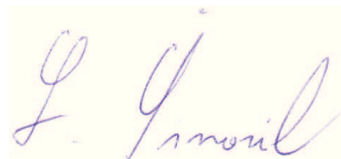
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce, Ing. Zdeňku Tesařovi, za rady při návrhu schématu a DPS snímače.

Prohlášení

Prohlašuji, že tato práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Veškeré zdroje, prameny a literaturu, které jsem při vypracování používal nebo z nich čerpal, v práci řádně cituji s uvedením odkazu na příslušný zdroj.



V Opavě, dne 12. dubna 2012

.....
Ladislav Šimoník

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem a realizací mobilní jednotky pro radiofrekvenční identifikaci RFID pracující v pásmech 125kHz a 13,56 MHz. V úvodu jsou zpracovány základní poznatky o systémech RFID a jednotlivých používaných frekvenčních pásmech. Poté je přistoupeno k návrhu zapojení a návrhu plošného spoje. Dále je zpracováno modelování antén vhodných pro vybrané pásma v komerčním simulátoru CST Microwave Studio. Na základě takto získaných výsledků je proveden výběr nejvhodnější antény a její realizace včetně přizpůsobovacích obvodů a následné ověření jejích parametrů v praxi.

Klíčová slova

Mobilní RFID snímač, anténa, CST Microwave Studio, ACCEL Schematic, ACCEL-tamgo PCB.

Abstract

This thesis deal with the design and construction of mobile units for radio frequency identification RFID in the frequency band from 125kHz and 13,56 MHz. The first part of the thesis, focuses on general knowledge of systems RFID and frequency band usage itself. Then proceeded to draft the proposal and the involvement of PCB. Further on a proposal modeling of suitable antennas for choice of frequency band in commercial simulator CST Microwave Studio is dealt with. On the basis of the results gained this way an optimal antenna is selected. It is then implemented including an adapter circuit and its parameter is subsequently examined in practice.

Keywords

Mobile RFID reader, antenna, CST Microwave Studio, ACCEL Schematic, ACCEL-tamgo PCB.

Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratky

EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
FR4	Jednostranně pokovený substrát
GND	Uzemnění (ground)
HF	Vysoká frekvence (high frequency)
PCB	Printed circuit board
PSV	Poměr stojatých vln
PTFE	Polytetrafluoroethylenové substráty
RFID	Identifikace na rádiové frekvenci (radio frequency identification)
RG 58	Koaxiálním kabel
LCD	Liquid crystal display
SRAM	Static Random Access Memory
TDMA	Časový multiplex (time division multiple access)
VSWR	Poměr stojatých vln (Voltage Standing Wave Ratio)

Symboly

Bf	Šířka pásma antény
C	Kapacita
G_r	Zisk antény tagu
G_t	Zisk antény
$H(x)$	Intenzita mag. pole
$H(x)r$	Poloměr smyčky antény
I	Proud
L	Indukčnost
P	Výkon vyzářený anténou
P_r	Celkový anténou vyzářený výkon
P_t	Výkon čtečky tagu
P_{th}	Minimální výkon dodaný anténou
Q	Činitel jakosti rezonančního obvodu
R	Odpor
R_r	Vyzařovací odpor antény
S_i	Směrovost
U_{cc}	Napájecí napětí
X_C	Kapacitní impedance
X_L	Indukční impedance
f	Kmitočet
h_{fe}	DC proudové zesílení
r	Dosah (read range)
$\tan \delta$	Koeficient dielektrických ztrát
ϕ	Výkon vyzářený anténou
ε_r	Dielektrická konstanta
λ	Vlnová délka
τ	Přenosový koeficient

Obsah

1	Úvod	9
1.1	Historie RFID systému	10
1.2	Složení RFID systémů	10
1.3	Typy RFID tagů	11
1.4	Typy RFID čteček	11
1.5	Dělení RFID systémů	11
2	Požadavky na zařízení	13
2.1	Návrh zařízení	14
2.2	Schématický návrh	15
2.3	Procesor	18
2.4	Paměť SRAM	21
2.5	Paměť EEPROM	22
2.6	Obvod reálného času	23
2.7	Obvod DS1232	24
2.8	DC-DC step-up konvertor	24
2.9	Komunikační rozhraní RS232	27
2.10	Čtecí obvod HTRC110	28
2.11	Čtecí obvod MF500	30
2.12	LCD displej	31
2.13	Maticová klávesnice	33
2.14	Zvuková signalizace	34
2.15	Napájení zařízení	35
3	Návrh plošného spoje	36
3.1	Nastavení technologických podmínek	37
3.2	Návrh desek plošných spojů z hlediska EMC	37
3.3	Vrstvy	38
3.4	Směrovací pravidla	39
3.5	Průchozí pokovení	40
3.6	Oddělovací kondenzátory	40
3.7	Rozmístění součástek	40
3.8	Zemnění	41
3.9	Blokování napájení	42
4	Anténa	43
4.1	Požadované frekvenční pásmo	43
4.2	Požadovaný čtecí dosah antény	44
4.3	Výkon antény	45
4.4	Vstupní impedance	45
4.5	Doba setrvání tagu v magnetickém poli antény	46

4.6	Limity výkonu antény a vnější vlivy	46
5	Postup při výběru antén pro simulaci	48
5.1	Návrh antén	48
5.2	Anténa pro rezonanční kmitočet 125kHz	49
5.3	Cívková anténa obdélníkového tvaru	50
5.4	Anténa pro rezonanční kmitočet 13,56MHz	53
5.5	Mikropásková anténa obdélníkového tvaru	54
6	Osazení a oživení DPS	58
6.1	První etapa	58
6.2	Druhá etapa	59
6.3	Třetí etapa	59
6.4	Čtvrtá etapa	60
6.5	Pátá etapa	60
6.6	Šestá etapa	60
7	Zabezpečení přenosu dat	61
7.1	Přenos dat u UNIQUE (EM4x02)	61
7.2	Přenos dat u MIFARE STANDARD	62
8	Firmware procesoru	65
8.1	Inicializace aplikace - nastavení registrů	65
8.2	Test SRAM	65
8.3	Test klávesnice	67
8.4	Procedura naladění obvodu HTRC110	67
8.5	Inicializace LCD displeje	69
8.6	Přenos dat	70
9	Závěr	72
10	Reference	73
	Seznam příloh	75
	Obsah přiloženého CD	75

1 Úvod

Bezdrátový přenos datových informací je fenoménem posledního desetiletí. Bezdrátová komunikace spočívá ve spojení dvou subjektů jiným způsobem, než mechanicky. Podle typu nosného média můžeme rozlišovat mezi několika druhy komunikací.

- **Optická** - laserová pojítka, infračervené spoje IrDA
- **Sonická** - ultrazvuková pojítka
- **Rádiová** - periferie k počítačům, datové mosty, dálková ovládání, vysílačky, televizní přenos, GPS, GPRS, Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, WiMAX, Wireless USB, RFID

Ze systémů v různých odvětvích průmyslu, určených pro používání k bezkontaktní identifikaci, lokalizaci a sledování zboží, majetku i osob v reálném čase se mi v současnosti jeví nejvhodnější RFID (Radio Frequency Identification). Tento systém lze úspěšně nasadit v mnoha odvětvích a oblastech, kde je kladen důraz na co nejrychlejší a přesné zpracování informací a okamžitý přenos těchto načtených dat k následnému zpracování.

RFID je moderní technologie identifikace objektů pomocí radiofrekvenčních vln. Data jsou v elektronické podobě ukládány do malých čipů-tagů, ze kterých je lze následně načítat a opakovaně přepisovat.

Cílem diplomové práce bylo navrhnout mobilní RFID čtecí zařízení pracující v pásmech 125 kHz a 13,56 MHz. Při konstrukci snímače byly brány v potaz jak náklady tak pracnost při jeho zhotovení.

1.1 Historie RFID systému

Systémy RFID (Radio Frequency IDentification) se používají na bezkontaktní přenos informací využívaných v různých aplikacích. Počátky vývoje RFID se datují k roku 1969 kdy se Američan *Mario Cardullo* začal zabývat myšlenkou vytvořením transpondéru (tagu), jehož identifikace by proběhla automaticky. V roce 1970 zmíněný vynálezce navrhl a podal patentovou přihlášku na první RFID systém. Patentový úřad mu patent udělil roku 1973.

V sedmdesátých letech probíhal vývoj RFID v laboratořích mnoha firem (IBM, Philips, Atmel, ...). Až do devadesátých let minulého století však zůstala oblast RFID systémů doménou výzkumníků. Začátkem nového století došlo k standardizaci těchto systémů a nastaly tak podmínky pro jejich široké využití. V současnosti je RFID technologie stále rozšířenější, neboť ceny těchto zařízení neustále klesají a zvyšuje se jejich účinnost. Díky tomu nacházejí RFID systémy uplatnění v mnoha oborech lidské činnosti jako jsou průmysl, věda a lékařství, velmi rozšířené jsou pak v komerční oblasti. [16]

Mezi předchůdce bezkontaktních identifikačních systémů řadíme i další systémy pro identifikaci. Mezi nejznámější patří magnetický a optický identifikační systém.

Magnetický identifikační systém se používá ve spojení s identifikačními kartami velikosti kreditních karet. Ty jsou velmi levné, zato však podléhají opotřebení. Možné kopírování karet je rovněž velmi snadné. Cena vlastního snímače ve stejné kategorii jako u ostatních systémů bývá o něco vyšší. Velkou nevýhodou je nutnost umístění snímače tak, aby byl dobře a volně přístupný pro vložení karty. Rovněž samotný fakt, že při každém průchodu či příjezdu musíme vytahovat kartu a protahovat ji snímačem, není příjemný. Spolehlivost čtení bývá velmi často nízká.

U optického identifikačního systému je jako identifikační prvek použit čárový kód, tedy cena takové karty je prakticky zanedbatelná. Zato pro vytvoření kopie karty s čárovým kódem postačí obyčejná kopírka - zde tedy nelze hovořit o jakémkoliv zabezpečení. Mechanické opotřebení karty je velmi malé, cena snímače, jeho umístění a použití jsou v podstatě stejné jako u magnetického systému. Automatická identifikace je o něco snadnější - existují optické snímače, které dovedou přečíst čárový kód také na větší vzdálenost, ale jsou také samozřejmě podstatně dražší.

1.2 Složení RFID systémů

Základní systém se skládá z čtecího zařízení specializovaného na komunikaci s RFID tagy. Čtečka má jednu nebo více antén, které vysílají elektromagnetické vlny a přijímají signály malých transpondérů. Transpondér (dále tag) se většinou skládá z malé antény a mikročipu obsahujícího informace, které je třeba přenést do čtecího zařízení. Proto toto zařízení vysílá elektromagnetické vlnění, na které je naladěna anténa tagu.

U některých typů RFID tagů se takto získaná energie z vyzářeného elektromagnetického pole využije na napájení obvodů mikročipu bez nutné přítomnosti napájecí baterie. Aktivovaný mikročip následně vysílá obsažené informace přes připojenou anténu zpět do čtecího zařízení. Tam jsou informace převedeny do digitální podoby pro další zpracování.

1.3 Typy RFID tagů

1.3.1 Podle možnosti zápisu

- Read only - čte pouze číslo zakódované při výrobě
- WORM (jednou zapsatelné) - vhodné pro etiketu na zboží
- Read/Wrtite - mnohokrát přepsatelné

1.3.2 Podle napájení

- Pasivní tagy - nemají vlastní baterii
- Aktivní tagy - mají miniaturní baterii, jsou drahé a těžší
- Semiaktivní - baterie pouze k posílení dosahu

1.4 Typy RFID čteček

1.4.1 Podle funkce čtení

- Intelligent reader - načtená data se vyfiltrují a předají serveru
- Agile reader - pracuje s tagy o různých frekvencích
- Dumb reader - data pouze načtou a předají serveru
- TDMA (Time Division Multiple Access) reader - zabraňuje kolizi při překrývání polí více antén čtečky

1.4.2 Podle konstrukce

- Tunelové čtečky - je to brána složená ze systému čteček a jejich antén, použití převážně v průmyslu (evidence zboží)
- Stacionární čtečky - používají se u přístupových a docházkových snímačů
- Mobilní terminály - jsou to přenosná zařízení, použití hlavně pro průmyslové prostředí, k evidenci majetku a docházky na odlehlých pracovištích. [16]

1.5 Dělení RFID systémů

Systémy RFID je možné rozdělit do skupin podle pracovní frekvence čtecího zařízení, pracovního dosahu celého systému či fyzikálního principu přenosu informace. Při přenosech se využívají elektrická, magnetická a elektromagnetická pole. Ty v mnoha případech stačí na to, aby dokázaly v tagu vytvořit energii potřebnou pro napájení obvodů a pro zpětné vysílání informace k čtecímu zařízení bez dodatečného napájení tagu v podobě přídatné baterie.

Systémy je možné z hlediska pracovního dosahu, v kterém se dá uskutečnit přenos informace v RFID systému rozdělit na tři základní skupiny:

- RFID systémy vázané přes elektrické nebo magnetické pole, také nazývané těsně vázané systémy. Pracují v nízkých frekvencích a pracovní dosah mají běžně jen několik centimetrů. Oproti dalším skupinám je účinnost přenosu energie v těchto systémech vyšší, což umožňuje energeticky náročnější čipy v tagu, kterými jsou například mikroprocesory. Nevýhodou těchto systémů je nutnost umístit tag do blízkosti čtecího zařízení a to v rovnoběžné rovině s jeho anténou, v které je elektromagnetické pole procházející tagem maximální. Aplikují se v praxi tam, kde se vyžadují větší bezpečnostní požadavky a není potřeba velkých vzdáleností při přenosu informací, například v případech přístupových systémů nebo platebních karet.
- Systémy založené na indukční vazbě pracující v radiofrekvenčním pásmu mají typický pracovní dosah cca 1m. Indukční vazbou tu rozumíme přenos energie z jednoho obvodu na druhý přes společné elektromagnetické pole. Obvody jsou rozděleny na přijímač a vysílač a nejsou spojeny pevně v jeden celek, jako například u transformátoru. Do této skupiny je možné zařadit většinou komerčně prodávané RFID systémy. Pracují nejčastěji na frekvencích 124 kHz, někdy 135 kHz (nízkofrekvenční LF pásmo, komunikační dosah 0,2 až 0,6 m), anebo 13,56 MHz (vysokofrekvenční HF pásmo komunikační dosah cca 1m). Je to volné pásmo, které se obecně nejčastěji využívá.
- Systémy pracující ve vysokofrekvenčním mikrovlnném pásmu jsou rychlejší než systémy pracující na principu indukční vazby a dosahují pracovní vzdálenosti cca 3m. Mají však také vyšší cenu a často potřebují na napájení přídatnou baterii což má negativní vliv i na životnost tagu. Pracují typicky na frekvencích 860 MHz až 960 MHz (868 MHz, USA a Canada 915 MHz) anebo v mikrovlnném pásmu 2,45 GHz případně 5,8 GHz na principu zpětně vyzářených elektromagnetických vln nebo povrchových akustických vln využívaných v piezoelektrickém jevu. [14]

2 Požadavky na zařízení

Před započítím vývoje této jednotky bylo třeba specifikovat požadavky kladené na jednotku samotnou. V této kapitole popíši jednotlivé části, které jsou zahrnuty v celkovém zapojení. Tyto jednotlivé popisované části jsou nezbytné k tomu, aby jednotka splňovala funkci mobilní RFID čtečky s důrazem na jednoduchost, obsluhu a cenovou dostupnost.

1. Snímač musí zvládat čtení čipů Unique (125kHz) a Mifare (13,56MHz). Z tohoto důvodu je třeba navrhnout čtecí obvody a antény pro oba typy čipů.
2. Snímač musí zvládnout ukládat načtená data, ale také je uchovat, dokud nebudou smazána, nebo přenesena do počítače. Tento požadavek budu řešit použitím dvou druhů pamětí. Primární paměť typu SRAM bude sloužit pro potřeby ukládání dat v reálném čase. Druhý typ použité paměti bude EEPROM. Tato paměť bude sloužit k uchovávání konfiguračních dat. Požadavek udržení aktuálního času ve snímači při vypnutém stavu bude řešit obvod reálného času.
3. Dalším požadavkem je upřesnění komunikace s PC. Požadavek byl kladen hlavně na jednoduchost připojení, které by nevyžadovalo žádný další speciální hardware nebo instalaci dalšího software na PC. Z tohoto důvodu jsem zvolil komunikaci pomocí sériové linky RS232.
4. Provoz a ovládání tohoto snímače by mělo být minimálně uživatelsky náročné. Ovládání je řešeno pomocí klávesnice umístěné na přední straně zařízení. Informace pro uživatele budou zobrazovány pomocí LCD displeje umístěného nad klávesnicí.
5. Snímač musí také obsahovat napájecí akumulátory, aby jej bylo možno použít kdekoli bez potřeby externího napájení. Tento problém byl vyřešen použitím nabíjecích akumulátorů, které by měly být schopny vydržet i několik hodin provozu. Použití lineárního stabilizátoru je při bateriovém napájení nevhodné, bylo tedy třeba zvolit kombinaci baterií s DC-DC měničem.
6. Dalším důležitým požadavkem bylo umístění celé jednotky do předem zvoleného pouzdra. Vybíral jsem ze sériově vyráběných profilů s důrazem na estetiku a ergonomický tvar vhodný pro držení celého zařízení v jedné ruce. Součástí pouzdra musí být také prostor pro tři napájecí akumulátory.

2.1 Návrh zařízení

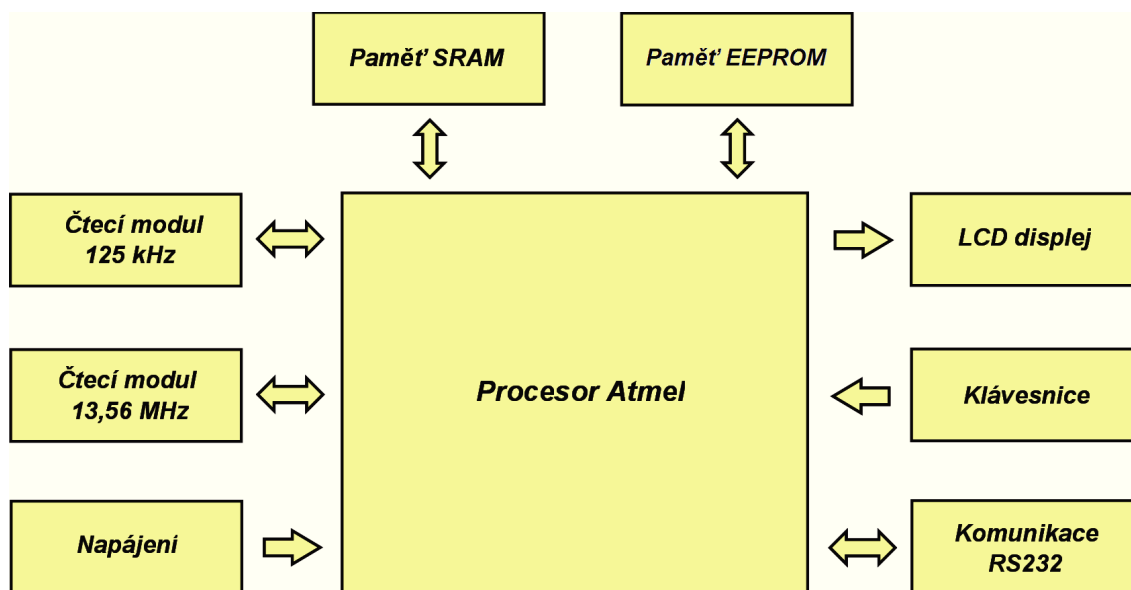
Zařízení podobného účelu nejsou na trhu žádnou novinkou, jejich výrobou se zabývá nejedna renomovaná firma. Mým úkolem tedy nebylo vytvořit něco nového, ale navrhnout kompaktní, konkurenceschopné zařízení s důrazem na minimalizaci výrobních nákladů a cenovou dostupnost.

Základním požadavkem na snímač bylo zvládnutí čtení čipů Unique (125 kHz) a Mifare (13,56MHz). Proto bylo třeba navrhnout čtecí obvody a antény pro oba typy čipů vhodné velikosti, odpovídající rozměrům použitého pouzdra snímače. Koncepce celého zapojení vychází z použití osmibitového procesoru Atmel AT89C51ED2. Z důvodu malých rozměrů pouzdra jednotky, od kterého se také odvíjely rozměry plošného spoje jsem zvolil 64pinové pouzdro. Výhodou tohoto procesoru jsou kromě standardních 4 I/O portů (P0-P3) ještě porty P4 a P5, které jsem téměř bezezbytku využil.

Deska plošného spoje byla mimo dalších obvodů osazena pamětmi typu SRAM, EEPROM, čtecími obvody pro oba výše požadované kmitočtové pásma, uživatelským rozhraním v podobě displeje a klávesnice, dále rozhraním RS232 potřebným pro komunikaci a vyčítání dat. Potřeba napájení bez nutnosti použití externího zdroje byla vyřešena třemi napájecími tužkovými akumulátory typu AA umístěnými v pouzdře snímače.



Obrázek 1: Mobilní RFID snímač



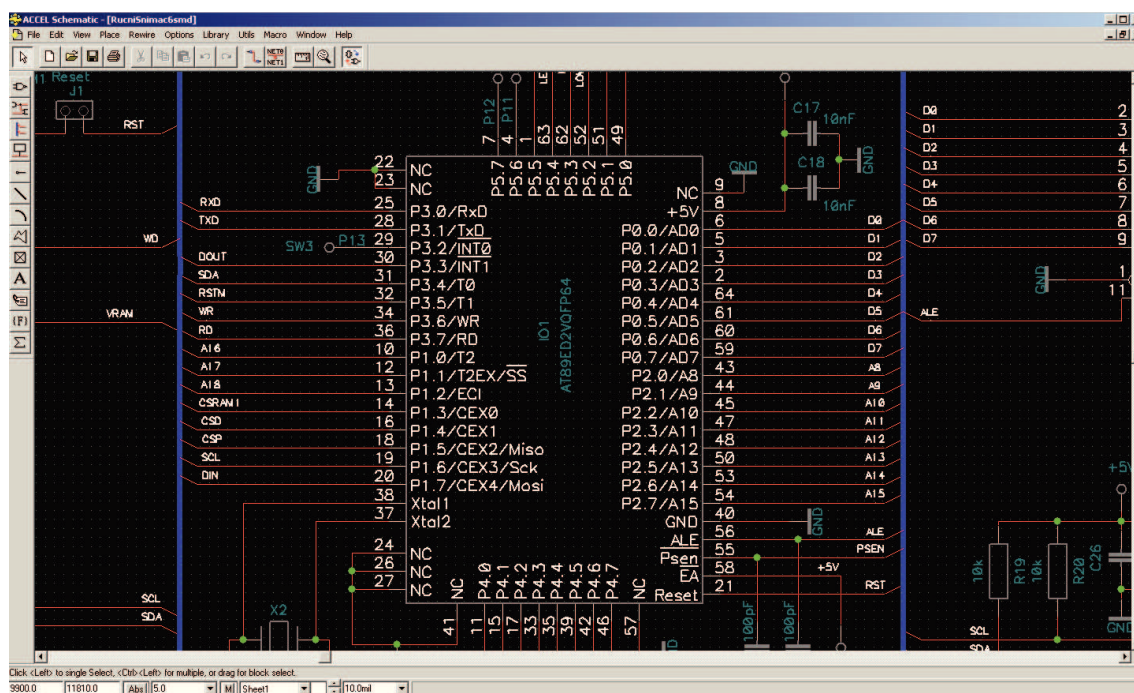
Obrázek 2: Blokové schéma zařízení

Jádrem tohoto snímače je procesor Atmel AT89C51ED2, pomocí kterého jsou zpracovávána načtená data ze čtecích modulů HTRC110 125kHz a RC500 MF 13,56MHz. Tato data jsou po načtení ukládána do paměti SRAM. Načtená a zpracovaná data jsou poté pomocí rozhraní RS232 přenesena do PC a dále zpracována. Na LCD displeji je zobrazován průběh výše zmíněných operací, které jsou řízeny pomocí maticové klávesnice snímače. Napájení této jednotky zabezpečují tři tužkové AA akumulátory umístěné v jejím pouzdře.

2.2 Schématický návrh

S návrhem plošného spoje jsem v podstatě začal už u kreslení schématu zapojení. Jedna věc je funkční obvodový návrh včetně správného dimenzování všech součástek. Elektronické schéma, podle kterého má být vyroben plošný spoj musí ovšem dále obsahovat jisté obvodové prvky, které na první pohled nesouvisí s přímou funkcí obvodu. Typickými příklady obvodových prvků „navíc“ jsou blokovací kondenzátory u integrovaných obvodů, ochranné součástky na vstupech a výstupech, odrušovací prvky u zdrojů atd.

Zároveň jsem si po celou dobu návrhu schématu kladl otázku jak to bude vypadat na plošném spoji. Například zda vypínač, potenciometr atd. bude umístěn přímo na plošném spoji nebo na čelním panelu, zda budou součástky v klasickém provedení nebo SMD, jaká bude nutná izolační vzdálenost mezi jednotlivými uzly, nebudou některé spoje tak dlouhé, že bude nutné jejich impedanční přizpůsobení? Pro schématický návrh jsem použil aplikaci ACCEL Schematic.



Obrázek 3: ACCEL Schematic

2.2.1 Návrh elektronického schématu

Z pohledu obvodového návrhu a návrhu plošného spoje je nutné dodržovat pravidla a zásady. Nyní následuje výčet nejfrekventovanějších problémů, které by měl každý návrhář znát a především respektovat:

- Konfigurace konektoru, systém sběrnic a propojovacích kabelů
- Systém blokování napájení pomocí kondenzátorů a filtrace vůbec
- Ochrany vstupu a výstupu, případně jejich galvanická oddělení
- Volba součástek s ohledem na rušivé vyzářování a vlastní odolnost
- Impedanční zakončení dlouhých spojů

Za nejčastěji porušovanou zásadu s velmi negativním dopadem na funkci obvodu je možné považovat podceňování významu blokování napájení pomocí kondenzátorů. [8]

2.2.2 Definice vlastností součástek a spojů

Návrhové programy umožňují k jednotlivým součástkám a uzlům přiřazovat různé položky (vlastnosti). V ACCEL Schematic se nazývají „Properties“. Obecně je vhodné popsat

schéma co nejpodrobněji. Důvodem může být například jeho vyšší informační hodnota při dlouhodobé archivaci. Popisové položky a vlastnosti schématu je možné rozdělit do několika skupin podle jejich významu:

- Detailnější popis schématické dokumentace. Sem patří například číslování součástek, popis jejich hodnoty a typu, objednáací čísla z katalogu, upozornění na vysoké napětí, napětíová úroveň důležitých uzlů, atp.
- Popis pro následné simulace obvodového chování. Je možné zadat například odkaz na model součástky.
- Popisy vlastností pro návrh plošného spoje. Tyto popisy se mohou prostřednictvím netlistu promítnout do návrhu plošného spoje.

2.2.3 Popisy součástek

Obecně je seznam popisových položek a rozsah jejich využití při návrhu plošných spojů samozřejmě omezen možnostmi použitého návrhového programu.

- Název pouzdra - jedná se o přiřazení pouzdra součástce z knihoven pouzder. Toto je nejdůležitější a dá se říci, že povinný popis.
- Strana umístění na desce plošného spoje - již ve schématu je možné stanovit, zda bude součástka umístěná shora (ze strany součástek) nebo zespoda (ze strany spojů).
- Konkrétní souřadnice na plošném spoji - používá se především u společných prvků (například konektorů) stavebnicového systému více desek.
- Zařazení součástek do skupin - pomocí čísel ve zvláštním popisovém poli je možné vytvářet skupiny součástek (například skupinu napájecího zdroje, předzesilovače, převodníku atd.) a při návrhu plošného spoje poté zvolit práci s celou skupinou jako s jedním objektem. Využívá se především při rozmísťování součástek. [8]

2.2.4 Kontrola návrhových pravidel

Kromě výstupu pro náročné analogové nebo číslicové simulace chování obvodu umožňuje ACCEL Schematic velmi operativní a účinnou kontrolu návrhových pravidel, která odhalí formální chyby typu „nezapojené vstupní piny“, „výstupní piny připojené na napájení“ atd. Taková kontrola má smysl pouze tehdy, jsou-li v knihovnách schématických značek správně nadefinované typy vývodů součástek (např. vstupní, výstupní, napájecí).

Součástí může být i kontrola integrity hierarchického návrhu. Při hierarchickém návrhu totiž nezřídka kdy dochází k formálním chybám při definici portů, zajišťujících propojení mezi jednotlivými úrovněmi schématu. A jelikož jsou propojeny ty porty, které mají stejný název, může při překlepu, nebo jiné syntaktické chybě při jejich popisu dojít k tomu, že nebudou propojeny. Další běžnou chybou, kterou je nutné odstranit, bývá označení více součástek totožnou referencí (např. dva odpory R1).

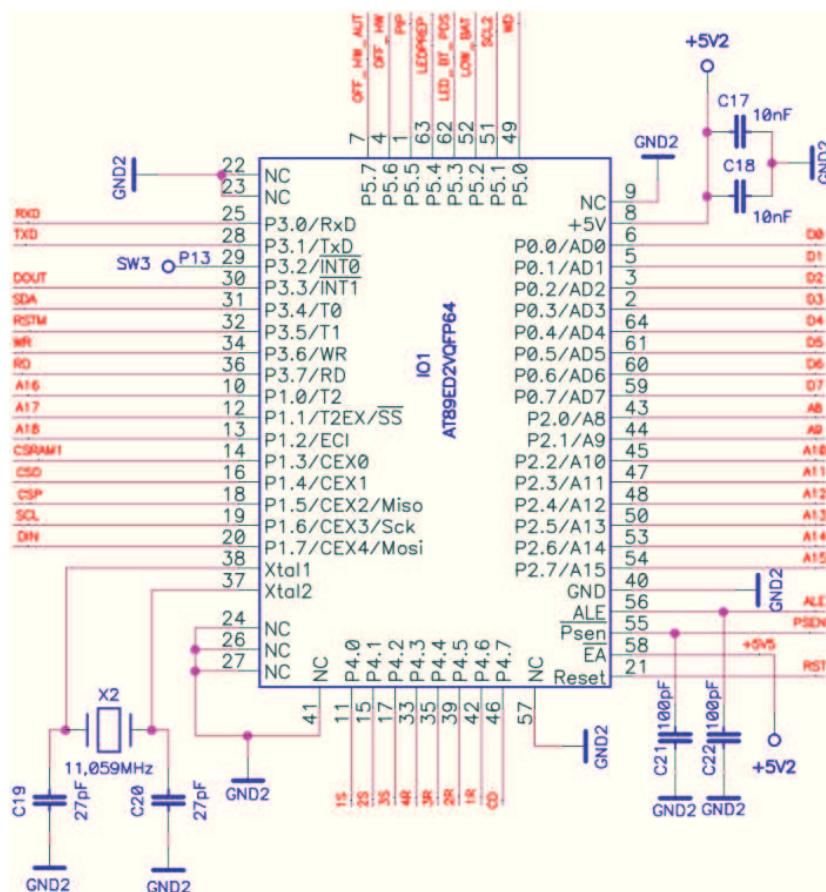
2.2.5 Výstupy schematického návrhu

Výstupem návrhu schématu může být tisk na tiskárně, seznam použitých součástek a dále celá řada souborů dat různých formátů, umožňujících další zpracování schématu. Těmto souborům se zpravidla říká *netlist*. Netlist je popis zapojení schématu včetně uvedení vlastností a popisových položek v určitém formátu. Jiný formát bude mít netlist pro návrh plošných spojů a jiný ten, který je určen jako vstupní soubor pro simulace chování obvodů. Vygenerováním netlistu ve formátu srozumitelném programu pro návrh plošných spojů končí fáze návrhu schématu. [8]

2.3 Procesor

Jednou z nejdůležitějších částí byl výběr vhodného procesoru. Při výběru jsem se zaměřil na mikroprocesory Atmel, se kterými pracuji a mám s nimi určité zkušenosti. Nakonec jsem se rozhodl pro typ AT89C51ED2 v 64pinovém pouzdře. Je to výkonný 8bitový mikroprocesor vyrobený technologií CMOS a vybavený 64kB paměti FLASH pro kód a data, která může být programována paralelně, nebo sériově pomocí rozhraní ISP přímo v aplikaci (bez nutnosti vyjmutí procesoru). Procesor je relativně malý. Jeho počet periférií dostatečně vyhovuje k řešení zadaného problému. Níže jsem shrnul další vlastnosti, které měly vliv na jeho výběr.

- vývodově i instrukčně kompatibilní s 8051
- verze procesoru v 64 a 68pinovém pouzdře má kromě standardních 4 I/O bran (P0-P3) ještě brány P4 a P5
- 256B interní RAM (podobně jako např. AT89C52)
- 64kB programové paměti FLASH programovatelné přes UART
- 1792B datové paměti XRAM (přístupná přes instrukci MOVX)
- 2kB paměti EEPROM
- rozhraní SPI
- dva registry DPTR
- X2 - jádro pracuje s rychlostí 6 period hodin na strojový cyklus (místo standardních 12 period)
- tři 16 bitové čítače / časovače T0-T2 (jako např. AT89C52)



Obrázek 4: Zapojení procesoru

- **PORT P0** - slouží ke generování adresy paměti SRAM. Zde je generována horní část adresy. A nebo jako 8-bitový výstup nebo jako výstup dat pro LCD displej a Mifare modul PMM5.
- **PORT P1** - je využit několika způsoby.
 - Pin P1.0 - P1.2 používá se pro komunikaci s horní částí paměti SRAM.
 - Pin P1.3 používá pro řízení T6 určeného pro přepínání režimu paměti (CSRAM1).
 - Pin P1.4 (CSD) je signál sloužící k výběru registru displeje.
 - Pin P1.5 (CSP) slouží k výběru a aktivaci PMM5.
 - Pin P1.6 (SCL) je využit jako zdroj hodinového signálu pro sběrnici I2C.
 - Pin P1.7 (DIN) serial data IN-HTRC110.
- **PORT P2** - je využitý pro komunikaci s pamětí SRAM. Je využíván obousměrně. Jednak pro generování dolní části adresy v paměti a také pro odesílání a přijímání dat z paměti.

- **PORT P3**

- P3.0 (RXD) a P3.1 (TXD) jsou zapojeny jako sériová komunikace pro rozhraní RS 232.
- Pin P3.2 (INT0) rezerva.
- Pin P3.3 (DOUT) serial data OUT-HTRC110.
- Pin P3.4 (SDA) je využit pro datovou komunikaci po sběrnici I2C.
- Pin P3.5 RSTM reset modulu Mifare PMM5.
- Pin P3.6 (WR) slouží k zápisu dat (LCD displej, Mifare modul a paměť SRAM).

- **PORT P4**

- Piny P4.0 - P4.6 slouží jako 7-bitový vstup z tlačítek klávesnice
- Pin P4.7 je využitý jako řídicí signál. Slouží k volbě registru displeje RS (log. 1 pro data, log. 0 pro instrukce).

- **PORT P5**

- Pin 5.0 (WD) je připojen na obvod 1232 slouží jako watchdog.
- Pin 5.1 (SCL2) je využit jako zdroj hodinového signálu pro obvod HTRC110.
- Pin P5.2 (Low_Bat) slouží k monitorování stavu baterií.
- Pin P5.3 hlídání stavu baterie LED.
- Pin P5.4 přepínání LED signalizace.
- Pin P5.5 ovládá piezo.
- Pin P 5.6 signál z tlačítka pro ON_OFF snímače
- Pin P 5.7- signál na T8, řízení automatického vypnutí snímače.

2.3.1 Napájení procesoru

Vstupní napájení procesoru je přivedeno na pin 8. Na pin 40 je přivedeno GND.

2.3.2 Zdroj hodinového signálu

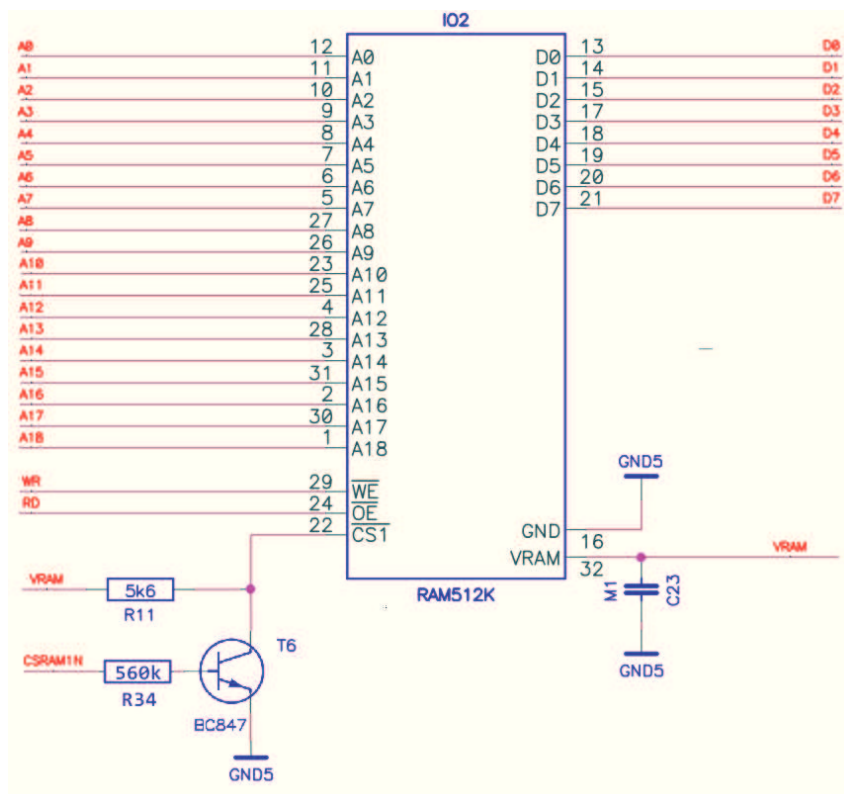
Jako zdroj hodinového signálu slouží externí krystalový oscilátor o frekvenci 11,059 MHz. Ten je připojen na piny 38 (XTAL1) a 37 (XTAL2). Stabilitu oscilátoru zaručují kondenzátory C19, C20 o velikosti 27 pF. Je to hodnota doporučena výrobcem procesoru pro tuto pracovní frekvenci.

2.3.3 Externí reset

Externí reset procesoru je přiveden na pin 21 (Reset). Ten je aktivován přivedením log 0 a je využíván buď při programování přes SPI rozhraní nebo napětovým watchdogem na portu P5.0 (PIN49).

2.4 Paměť SRAM

Při výběru statické RAM jsem se řídil následujícími kritérii. Hlavní důvody byly dostatečná rychlost přístupu k datům, druhým TTL rozhraní, třetím minimální spotřeba a posledním kritériem je bateriové zálohování paměti. V zapojení jsem použil paměť R1LP0408C-I, která splňovala všechny požadavky (doba přístupu: 70 ns, spotřeba při provozu: 10 mW) a je i cenově dostupná. Zapojení je znázorněno na obrázku 5.



Obrázek 5: Zapojení paměti SRAM

Paměť je připojena na 8-bitovou datovou sběrnici a zároveň na 19-bitovou adresní sběrnici. Na procesoru máme k dispozici pouze devatenáct bitů adresní sběrnice, ale už nezbyvá místo pro datovou sběrnici. Port P0 pracuje v režimu multiplexované sběrnice, což znamená, že slouží jako dolní polovina adresové sběrnice a zároveň i jako datová sběrnice.

Princip spočívá v tom, že na portu P0 se vygeneruje dolní část adresy. Ta se pomocí paměti LATCH uchová dále. Na portu P1 a P2 je vygenerována horní část adresy. V tomto momentu máme na adresní vstupy paměti přivedenou adresu a současně jsme si uvolnili port P0, protože jeho část adresy je nyní udržována na výstupech paměti LATCH. V tomto momentu mohou být data uložena na danou adresu do paměti, nebo z této adresy přečtena do procesoru. Řídícími signály WR a RD jsou ovládány čtení a zápis do paměti.

Jako paměť LATCH jsem vybral obvod TTL 74HC573. Tato paměť je ovládána pomocí signálu ALE. Pokud je tento signál ve stavu log. 1, je adresa na vstupu převedena na výstup. Po změně řídicího signálu ALE na log. 0 je pak tato adresa držena. Tím je problém s ukládáním dat a přístupem k nim vyřešen. Při poklesu napájecího napětí pod nastavenou hodnotu je vstup CSRAM1N přiveden na log 0. Tím se tranzistor T6 stane nevodivým a přes rezistor R11 se na vstupu CS1 objeví kladné napětí, které přepne paměť do režimu NOT SELECTED a změna dat není možná. V normálním stavu je na signálu CSRAM1N záporné napětí. Je zapotřebí tedy vypočítat odpor kolektoru R11. Základní předpoklad byl ten, že odpor R11 musí být dostatečně velký, aby při uzavřeném tranzistoru T6 nedošlo k poškození řídicího vstupu paměti a při tom v sepnutém stavu neprotékal příliš velký proud, který by zatěžoval celé zařízení.

Maximální proud v sepnutém stavu jsem zvolil $I_C = 0,8mA$. Od toho se odvíjí následující výpočet.

$$R_{11} = \frac{U_{cc} - U_{CEsat}}{I_C} = \frac{5 - 0,6}{8 \times 10^{-4}} = 5\,500\Omega \quad (1)$$

U_{cc} - napájecí napětí

U_{CEsat} - saturační napětí tranzistoru [2]

V zapojení jsem použil hodnotu 5k6, která splňuje požadavek na ochranu řídicího vstupu paměti. Báze tranzistoru je zapojena přes hradlo 74HCT04, tím pádem je signál z procesoru negovaný.

Proud báze vypočítáme podle následujícího vztahu.

$$I_B = \frac{I_C}{h_{fe}} = \frac{8 \times 10^{-4}}{110} = 7,3\mu A \quad (2)$$

h_{fe} - DC proudové zesílení BC847 [2]

Nyní vypočítáme R34

$$R_B = \frac{U_{CC} - U_B}{I_B} = \frac{5 - 0,7}{7,3 \times 10^{-6}} = 589\,041\Omega \quad (3)$$

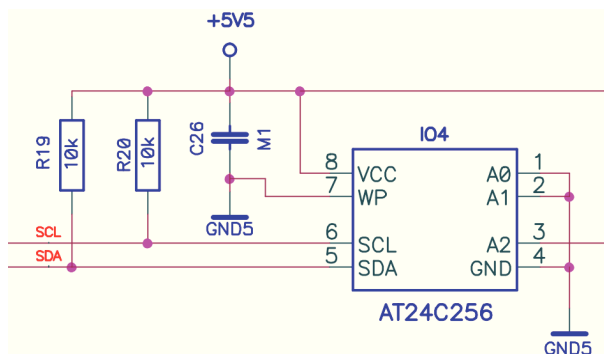
V zapojení jsem použil hodnotu 560k.

2.5 Paměť EEPROM

Tato paměť je použita pro případ, kdy bude zapotřebí uchovat data v paměti na delší dobu. Vybral jsem paměť od firmy Atmel z kterou mám dobré zkušenosti AT24C256. Hlavním důvodem výběru byla, možnost připojení paměti k procesoru přes dvou vodičovou sběrnici I2C.

Při napájení 5V lze dosáhnout komunikační frekvence až 1 MHz. Provedení adresace této paměti na sběrnici je pomocí pinů A0 a A1. Adresu jsem zvolil jako $A0 = 1$ a $A1 = 0$. Adresu $A0 = 0$, která by byla asi nejlogičtější nebylo možno použít, protože tuto adresu již používá obvod reálného času, jak vyplývá z další části. Vstup SCL (Serial Clock) je použit

jako hodinový vstup s náběžnou hranou pro vstupní data a se sestupnou hranou pro výstupní data. Pin SDA (Serial Data) slouží jako obousměrný pro sériová data. Připojením Pinu WP (Write Protect) na GND je umožněno zapisování do paměti. Při jeho připojení na +5V by nebyl možný zápis do paměti. Tato paměť je nevolatelná což znamená, že po odpojení napájení se z ní uložená data nevymažou. Díky tomu lze měnit baterie bez rizika ztráty dat rezistory R19 a R20 jsou zapojeny jako zvedací (pull-up). Kondenzátor C26 je filtrační.



Obrázek 6: Zapojení paměti EEPROM

2.6 Obvod reálného času

Obvod reálného času jsem do zapojení zařadil z důvodu potřeby ukládat načtená data v reálném čase. Zvolil jsem obvod DS1307. Obvod komunikuje s procesorem shodně jako paměť EEPROM. To znamená přes sběrnici I2C a pomocí vstupů SDA a SCL. Rozdíl je pouze v adresaci zařízení. Paměť musela mít na sběrnici adresu $A0 = 1$ právě proto, že $A0 = 0$ je využita pro tento obvod.

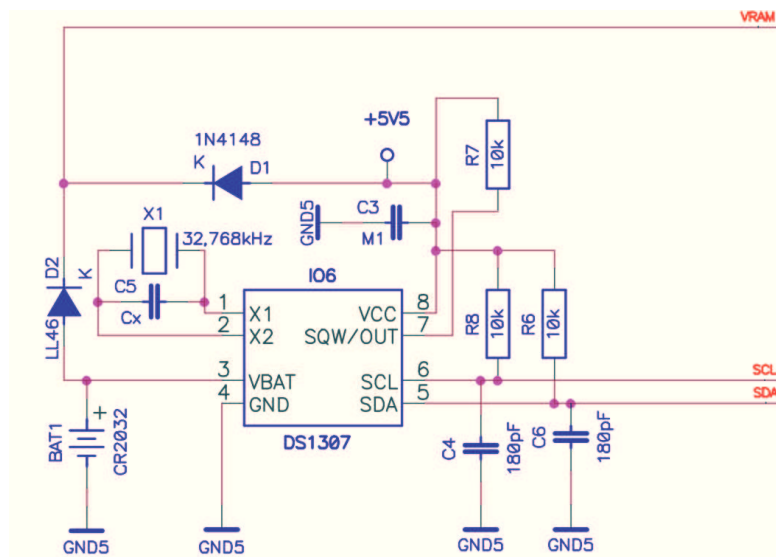
Mezi přednosti tohoto obvodu patří malá spotřeba, uložení dat v BCD kódu, hodiny / kalendář a 56 bajtů NV SRAM. Hodiny a kalendář nabízí informace o sekundách, minutách, dnech, měsíci a roku. Datum konce měsíce se automaticky upraví pro měsíce, které mají méně než 31 dnů, včetně oprav pro přestupný rok. Hodiny pracují buď ve 24 nebo 12-hodinovém formátu s volitelným AM / PM indikátorem.

U obvodu je nutné připojení externího krystalového oscilátoru o frekvenci 32,768 kHz, který s vnitřní děličkou frekvence zajišťuje pevnou časovou základnu.

Napájení v tomto případě není připojeno přímo na 5V, ale je připojeno přes záložní napájecí obvod, který dodává proud pro chod obvodu reálného času i při vypnutém zařízení a zabraňuje tak ztrátě dat o aktuálním čase.

Zálohování obvodu reálného času je velmi jednoduché. Je zajištěno záložní baterií BAT2 o napětí 3V a kapacitě 280 mAh. Ta zároveň zálohuje i činnost paměti SRAM. Zapojení celého obvodu je na obrázku 7.

Princip činnosti zapojení je velmi jednoduchý. Výstup z tohoto obvodu zajišťuje napájecí napětí pro paměť SRAM a obvod reálného času. Pokud je jednotka zapnuta a akumulátor



Obrázek 7: Zapojení obvodu reálného času

nabitý, je na pinu napájecího napětí 5V. A to protože na baterii jsou pouze 3V a dioda D1 je polarizována v propustném směru, ale dioda D2 v závěrném. Tím pádem přes D1 prochází proud a napájí paměť standardně z hlavního zdroje, zatímco uzavřená dioda D2 brání vybíjení baterie BAT1. V opačném případě, kdy je primární napájení odpojeno je D1 uzavřena, dioda D2 se otevírá a napájení paměti je zajištěno z baterie.

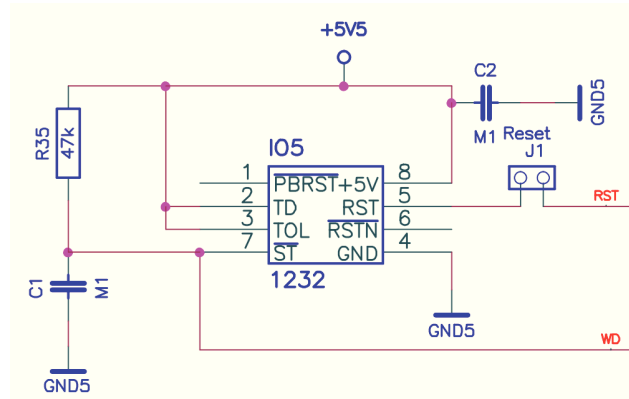
2.7 Obvod DS1232

Na realizaci „pocitivého“ signálu RESET jsem vybral obvod DS1232. Signál RESET je připojen přímo na RST (reset) mikroprocesoru přes propojovací jumper J1, aby bylo možné jej také odpojit. Obvod DS1232 umožňuje zabezpečit tři zásadní funkce nutné pro správný chod mikroprocesoru.

Automaticky restartuje mikroprocesor po výpadku napájení, reset je udržován aktivní minimálně 250 ms. Reset je aktivní v úrovni log 1. Druhou funkcí DS1232 je možnost ovládání resetu přímo pomocí tlačítka. Třetí funkce je watchdog. Watchdog timer funkce lze nastavit na provoz na timeout přibližně 150 ms, 600 ms a 1,2 sekundy. Pro inicializaci mikrokontroléru je k dispozici vstup RST (reset). V době inicializace se nastaví ALE a PSEN do vstupního stavu. Já jsem využil pouze funkci pro reset procesoru při výpadku napájení a watchdog.

2.8 DC-DC step-up konvertor

Pro napájení ručního snímače bylo třeba navrhnout 5V zdroj. Maximální požadovaný proud odebíraný z tohoto zdroje je cca. 200mA. Toto byl pro mě stěžejní parametr při výběru 5V napájení. Po hledání vhodné varianty jsem objevil obvod firmy MAXIM



Obrázek 8: Zapojení resetovacího obvodu

MAX1797. Tento obvod je schopen dodat potřebný proud, pracuje s vysokou účinností (více než 95%) a je cenově přijatelný. Obvod pracuje s napájecím napětím v rozmezí od 0,85V do požadované hodnoty napětí výstupního. Výstupní napětí je volitelné v rozmezí od 2V do 5,5V.

Při návrhu zapojení step-up konvertoru jsem vycházel ze zapojení doporučeného výrobcem. Obvod MAX 1797 umožňuje zvolit si hodnotu požadovaného výstupního napětí pomocí vývodu FB, který jsem připojil na GND a tím nastavil na výstup 5V. Hodnota indukčnosti L1 je přímo úměrná velikosti maximálního výstupního proudu. Velikost indukčnosti L1 jsem volil výrobcem doporučovanou hodnotu $22\mu H$. Návrh této hodnoty jsem si ověřil dosazením do následujícího vzorce pro výpočet maximálního výstupního proudu. [4]

$$I_{OUT(MAX)} = \left(I_{LIM} - \frac{I_{RIP}}{2} \right) (1 - D) \quad (4)$$

$$I_{RIP} = \frac{V_{OUT} + I_{LIM} \times (R_{PFET} + L_{ESR}) - V_{BATT}}{\left[\frac{L}{t_{OFF}} + \frac{R_{PFET} + L_{ESR}}{2} \right]} \quad (5)$$

$$D = \frac{V_{OUT} + \left(I_{LIM} - \frac{I_{RIP}}{2} \right) (R_{PFET} + L_{ESR}) - V_{BATT}}{V_{OUT} + \left(I_{LIM} - \frac{I_{RIP}}{2} \right) (R_{PFET} - R_{NFET} + L_{ESR})} \quad (6)$$

$I_{OUT(MAX)}$ - maximální výstupní proud

I_{RIP} - špičkový proud indukčností

D - pracovní cyklus

V_{BATT} - vstupní napětí (V)

L - hodnota indukčnosti (μH)

V_{OUT} - výstupní napětí (V)

t_{OFF} - vypínací čas LX (typ $1\mu S$)

I_{LIM} - proudové omezení obvodu (1A)

L_{ESR} - odpor indukčnosti (typ $0,095\Omega$)

R_{PFET} - odpor P kanálu výst. MOSFETu (typ $0,27\Omega$)

R_{NFET} - odpor N kanálu výst. MOSFETu (typ $0,17\Omega$)

Z výsledné hodnoty je zřejmé, že zvolené zapojení je pro splnění požadavků plně dostatečné. Výstupní filtrační tantalový kondenzátor C14 má větší zdánlivý odpor, což může působit problémy u větších napětových špiček. Proto jsem na výstup přidal keramický kondenzátor C15 o kapacitě 100nF, který odfiltruje případné špičky.

U obvodu MAX1797 jsem využil zabudovaného napětového watchdogu, který dokáže pomocí vývodu LBO předat řídicímu procesoru informaci o nízkém stavu napětí baterií. Hodnotu, při které se výstup LBO přepne do stavu vysoké impedance jsem nastavil na vývodu LBI pomocí napětového děliče. Tento dělič je sestavený z odporů R10 a R9. Zvolené hodnoty jsem vypočítal podle následujícího vzorce. [4]

$$R_9 = R_{10} \left(\frac{V_{TRIP}}{0,85V} - 1 \right) \quad (7)$$

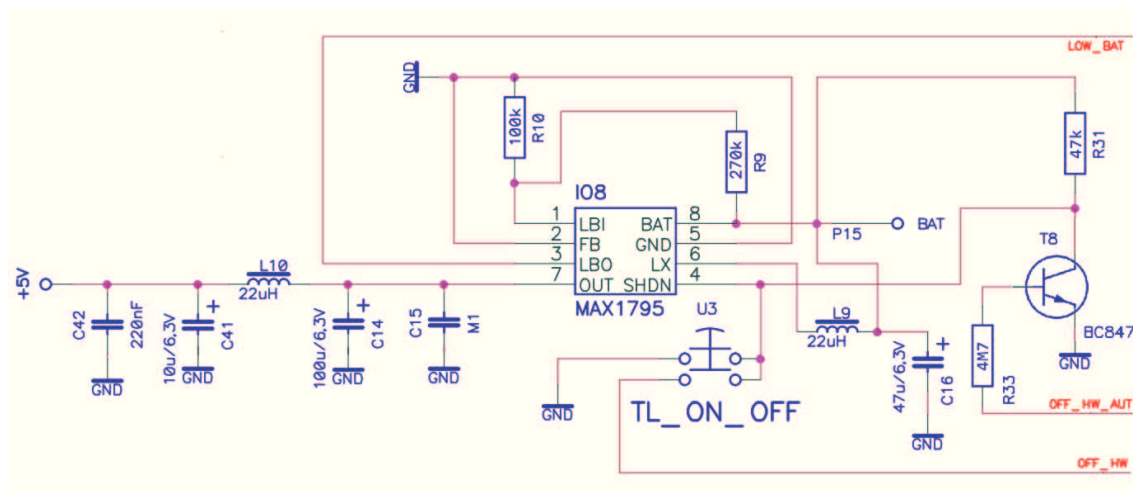
V_{TRIP} - rozhodovací úroveň napětí při které přejde výstup LBO do stavu vysoké impedance

Hodnotu odporu R30 jsem zvolil 250k. A to proto, že pro správnou funkci obvodu plně postačí proud do vývodu LBI okolo 2nA. Rozhodovací úroveň napětí jsem stanovil na 3V. Je to z toho důvodu, aby napětí na jednotlivém článku nekleslo pod mez, která by mohla ovlivnit kapacitu baterie. Hodnotu odporu R30 jsem s rezervou zvolil 100k. Odpovídající hodnota odporu R31 je pak rovna přibližně 264k čemuž je v řadě E12 nejbližší odpor 270k signalizace běhu zařízení.

Vypnutí a zapnutí zařízení se provádí pomocí dvoupólového mikrospínače U3. Při sepnutí mikrospínače se uzemní pin 4 DC-DC konvertoru čímž je konvertor uveden v činnost. DC-DC konvertor začne do obvodu dodávat proud, tím pádem dojde ke spuštění procesoru. Na pinu procesoru P5.7 se změní úroveň napětí na log. 1, tím se otevře T8. Na jeho kolektoru se změní úroveň napětí z log. 1 na log. 0. Tento stav umožňuje sepnutí DC-DC konvertoru a tím i chod celého zařízení po puštění tlačítka mikrospínače.

Vypnutí celého obvodu se provede sepnutím stejného mikrospínače. Tím dojde k uzemnění pinu procesoru P5.6, čímž se změní úroveň z log. 1 na log. 0. Procesor vyhodnotí tuto změnu stavu, tím dojde na pinu P5.7 ke změně stavu z log. 1 na log. 0. Tranzistor T8 se zavře a na jeho kolektoru se změní úroveň na log. 1. Tato změna proběhne současně i na pinu 4 DC-DC konvertoru. Poté konvertor vypne.

Změna log. stavu na bázi T8 při vypínání zařízení, ale proběhne až po dvou vteřinách. Po této době už nesmí být mikrospínač stisknut. Pokud by tomu tak nebylo, stisknutím mikrospínače by přivedená log. 0 na piny procesoru P5.6 a P5.7 současně zapínala a vypínala DC-DC konvertor.



Obrázek 9: Zapojení DC/DC měniče

Maximální proud T8 v sepnutém stavu jsem zvolil $I_C = 0,1mA$. Od toho se odvíjí následující výpočet.

$$R_{31} = \frac{U_{cc} - U_{CEsat}}{I_C} = \frac{5 - 0,6}{0,0001} = 44\,000\Omega \quad (8)$$

V zapojení jsem použil hodnotu 47k.

Proud báze vypočítáme podle následujícího vztahu.

$$I_B = \frac{I_C}{h_{fe}} = \frac{0,0001}{110} = 0,9\mu A \quad (9)$$

Nyní vypočítáme R33.

$$R_B = \frac{U_{CC} - U_B}{I_B} = \frac{5 - 0,7}{9 \times 10^{-7}} = 4\,777\,777\Omega \quad (10)$$

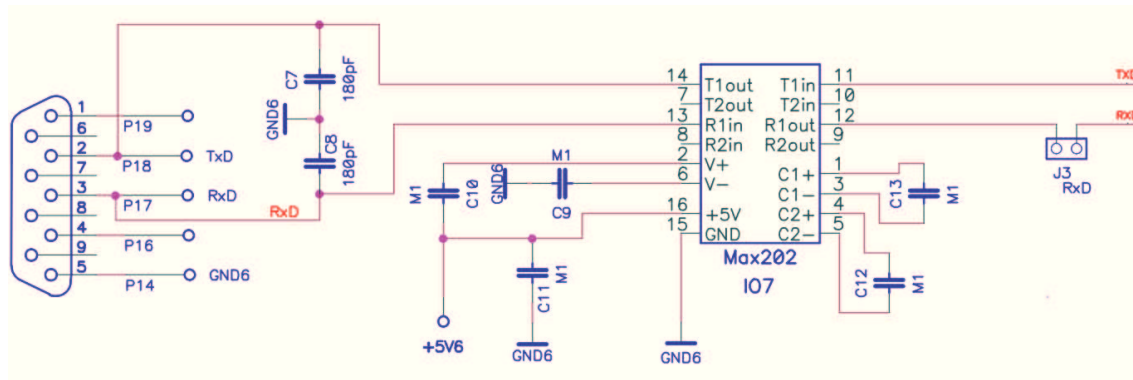
V zapojení jsem použil hodnotu 4M7.

Stejnoseměrné měniče pracují v režimu pulsně šířkové modulace PWM (Pulse With Modulation) s nosným kmitočtem od 2 do 600 kHz. Na výstup DC-DC měničů je zpravidla zapojen výstupní LC filtr ve tvaru dolní propusti. Filtr snižuje fázi zvlnění ke které dochází při každém zapnutí měniče na výstupu na minimum. V mém zapojení jsem u tohoto filtru použil pro L10, C41 a C41 doporučené hodnoty, viz. [14].

2.9 Komunikační rozhraní RS232

Pro komunikační rozhraní sériové komunikace RS 232 jsem pro jednoduchost zapojení použil osvědčený obvod MAX232. Jedná se o duální převodník TTL na RS 232. Obsahuje dvě dvojice oddělovačů konvertující napěťové úrovně. V zapojení jsem využil pouze

jeden komunikační kanál. Napětí pro RS 232 se získává pomocí nábojové pumpy tvořené kondenzátory C9 až C13. Schéma zapojení je na obrázku 10.



Obrázek 10: Zapojení komunikačního obvodu MAX202

2.10 Čtecí obvod HTRC110

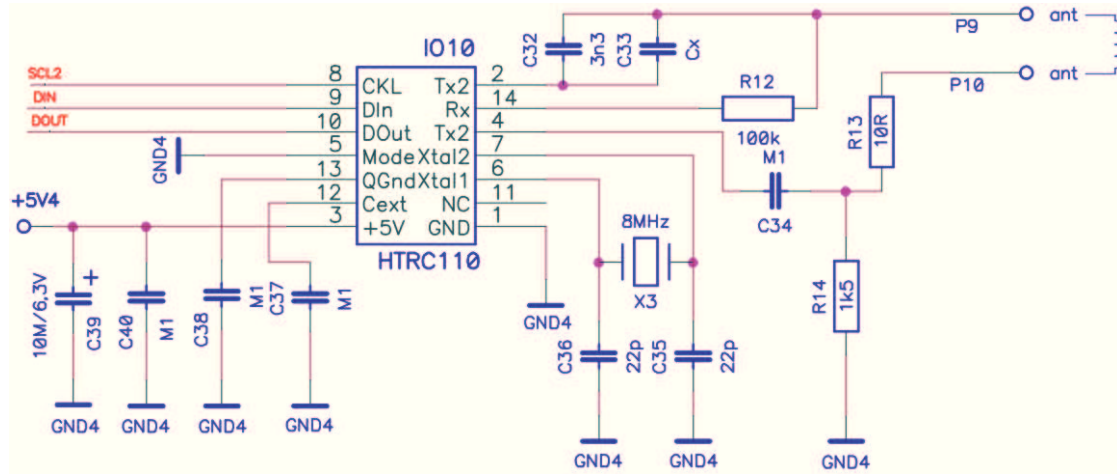
HTRC110 je ideální obvod pro návrh moderní RFID čtečky. Obvod obsahuje všechny potřebné moduly pro usnadnění čtení a zápisu na externí transpondér. HTRC110 je navržen pro práci s transpondéry Philips HITAG1 & 2 a moduly UNIQ. Kromě IC rovněž podporuje i další typy transpondérů pracujících na frekvenci 125 kHz pomocí amplitudové modulace pro operace zápisu a AM / PM pro operace čtení.

Obvod komunikuje s procesorem pomocí signálů DOUT, DIN, SCL2. Jako zdroj hodinového signálu slouží externí krystalový oscilátor o frekvenci 8MHz. Ten je připojen na piny XTAL1, XTAL2. Stabilitu oscilátoru zaručují kondenzátory C36, C35 o velikosti 22pF. Jedná se o hodnotu doporučenou výrobcem pro tuto pracovní frekvenci. Kondenzátor C38 100nF slouží k přemostění vnitřní virtuální země (~2V). Je připojen z pinu QGND na GND. Další 100nF kondenzátor je spojen z CEXT na GND, který je nutný pro 2. horní pásmovou propust. Oba kondenzátory mohou být obyčejné keramické.

Také napájení je odděleno prostřednictvím C39 (10μF) filtrační kondenzátor paralelně k lokálnímu kondenzátoru C40 (100nF). Rezistor R14 slouží k potlačení zbloudilých nízkofrekvenčních signálů z antény. Jeho doporučená hodnota je 1kΩ. RX-vstup je chráněn pomocí odporu R12, protože, a to i za běžného provozu, se mezi La a Ca vyskytuje napětí až do ±140V. RX-pin je vnitřně propojen s pinem QGND (~2V) přes rezistor Rdemin. Proto R12 a tento vnitřní odpor tvoří napěťový dělič. Doporučená hodnota R12 je 100kΩ.

2.10.1 Anténní obvod s ochranou proti zkratu

Pro kapacitní oddělení připojené antény, jsou oba vstupy TX1 a TX2 chráněny proti připojení k GND nebo U_{CC} . Rezonanční kondenzátor je podle doporučení rozdělen do dvou složek. Použil jsem malou hodnotu kondenzátoru s nízkou tolerancí pro C32 a větší hodnotu pro kondenzátor C34 (doporučená 100nF).



Obrázek 11: Zapojení čtecího modulu HTRC110

C32 vypočítáme odvozením C_a ze vzorce. [3]

$$f_r = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{\frac{L_a}{\frac{1}{C_s} + \frac{1}{C_a}}}} \quad (11)$$

Po úpravě

$$C_a = \frac{1}{\frac{L_a}{\frac{1}{f_r^2 2\pi^2}} - \frac{1}{C_s}} \quad (12)$$

L_a - indukčnost antény $541\mu H$ viz. výpočet parametrů antény níže

C_s - doporučená hodnota $100nF$ - C34

f_r - pracovní kmitočet antény $125kHz$

Po dosazení dostaneme $3,09 \times 10^{-9}$, za C_a (C31) dosadíme hodnotu $3,3nF$. Maximální proud protékající anténou při optimálním naladění činí $\hat{I}_{ant_{max}} = 200mA$ při napětí $V_{DD} = 5V$.

Pro výpočet R_a (R13), musí být známy ostatní složky $R_{celkový}$. U R_{driver} jsem počítal s nastavenou hodnotou na 3.5Ω podle následujícího vzorce. [3]

$$R_{celkový} = \frac{4}{\pi} \times \frac{V_{DD}}{\hat{I}_{ant_{max}}} \quad (13)$$

Po dosazení dostaneme $31,8\Omega$.

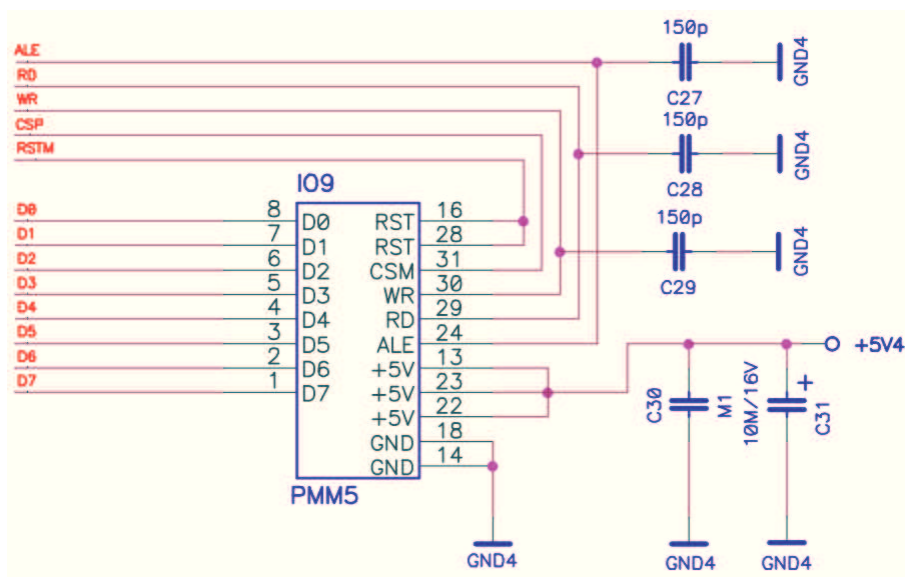
$$R_{celkový} = R_{ved} + R_{vinuti} + R_a + R_{driver} \quad (14)$$

$R_{celkový}$ - vypočtený při součet jednotlivých složek při $\hat{I}_{ant_{max}} = 200mA$
 R_{driver} - odpor mezi svorkami TX1, TX2 může být nastaven do 3, 5Ω
 $R_{vinutí}$ - odpor vinutí antény 4, 57Ω, viz výpočet parametrů antény níže
 R_{ved} - odpor vedení včetně spojů na DPS 0, 4Ω
 R_a - přizpůsobovací odpor
 V_{DD} - 5V

Po dosazení dostaneme $R_{13} - R_a = 23,33$, nejbližší hodnota 22Ω.

2.11 Čtecí obvod MF500

Pro funkci čtecího modulu v pásmu 13,56 MHz je použito již navržené DPS s obvodem RC500 a díky tomu již není třeba navrhovat obdobnou DPS. Zapojení tohoto modulu je již funkčně ověřené a rozměrově vyhovuje pouzdru snímače.



Obrázek 12: Čtecí modul PMM5

RC500 MF čtečka využívá vynikající modulační a demodulační koncepce plně integrované pro všechny hlavní druhy pasivních bezkontaktních způsobů komunikace a protokolů o 13,56MHz. MF RC500 podporuje všechny vrstvy ISO14443A. Vnitřní vysílací část je schopna účinně pracovat do vzdálenosti 100mm přímo bez další aktivních obvodů. Přijímač je schopen detekovat a dekódovat i velmi slabé signály transpondérů ISO14443A a kompatibilní. Vzhledem k vysoce sofistikované provedení přijímače již není limitujícím faktorem pro operační vzdálenost.

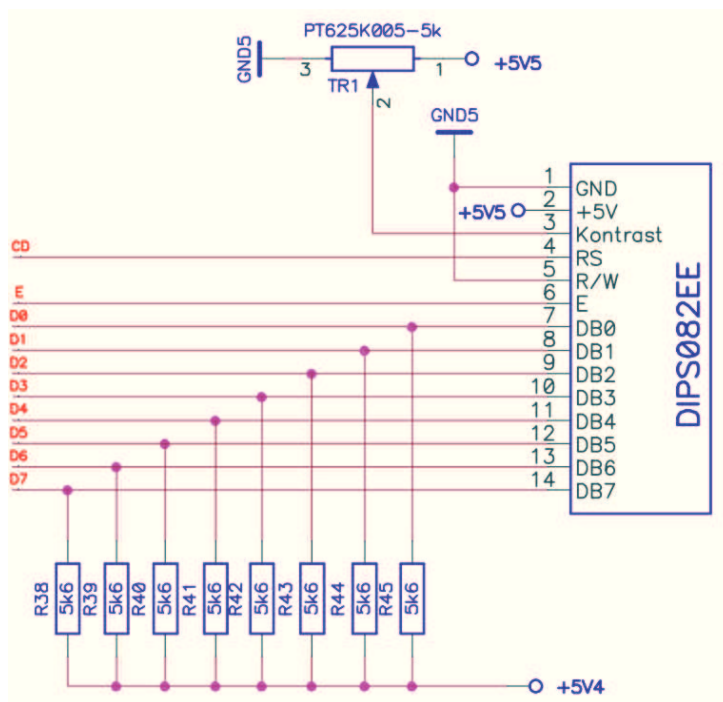
Přenos dat probíhá prostřednictvím paralelní sběrnice. Dále jsou pak vyvedeny do procesoru řídicí signály ALE, RD, WR, CSP, RSTM. Na napájecí pin +5V jsou připojeny filtrační kondenzátory.

2.12 LCD displej

Snímač používá ke komunikaci s uživatelem LCD displej založený na standardu HD44780 a rozměru 2x8 znaků. Displej je připojen na stejnou datovou sběrnici jako dolní část adresy SRAM a modul PMM5. Přenos dat probíhá po osmibitové datové sběrnici s pull-up rezistory a je řízen pomocí signálů CD a E.

R/W signál slouží pro volbu zápisu nebo čtení dat. WR je synchronizační signál. Při zápisu dat na displeji budou data displejem přečtena se sestupnou hranou tohoto signálu. Pro zápis dat do displeje musí být ve stavu log. 0. Pro čtení dat musí být ve stavu log. 1. V mém případě budou data pouze zapisována, takže tento signál jsem připojil trvale na GND.

Signál E slouží k aktivaci displeje a připojení na sběrnici. Signál je generován logickým součtem signálů WR a CSD z procesoru. K tomu účelu jsem použil tři hradla NAND obvodu 74HCT00. Piny 1 a 2 jsou určeny k napájení displeje. Pin 3, který je připojen přes odporový trimr P1 na napájecí napětí, slouží k nastavení intenzity svitu.



Obrázek 13: Zapojení displeje

Maximální odběr displeje je uváděn 50 mA. Toto je značná zátěž pro celý snímač. Z toho důvodu je podsvícení spínáno pomocí tranzistoru T7. Řídící signál je generován jedním z výstupů procesoru a je přiveden na bázi tohoto tranzistoru přes invertor 74HCT04. Hodnotu odporu báze R34 uvádí následující výpočet odvozený z Ohmova zákona.

$$I_B = \frac{I_C}{h_{fe}} = \frac{0,05}{110} = 0,45mA \quad (15)$$

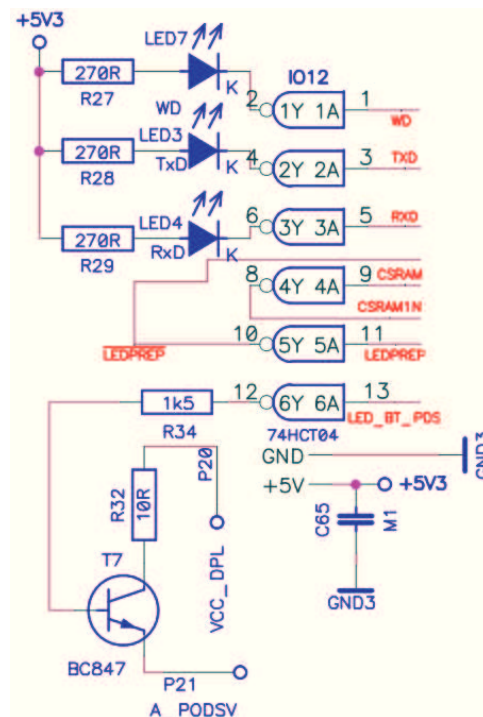
$$R_{34} = \frac{5V - U_{BE}}{I_B} = \frac{4,4}{45 \times 10^{-5}} = 9\,777\Omega \quad (16)$$

I_C - proud kolektoru

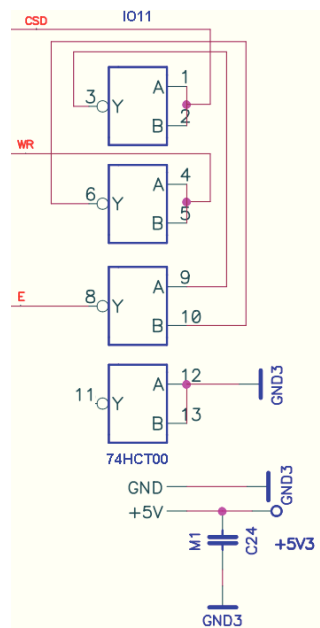
I_B - proud báze

Na invertoru jsou také připojeny tři signalizační LED diody pro detekci signálů RxD, TxD a WD. Jejich předřadné odpory R27, R28, R29 jsem vypočítal z Ohmova zákona. Tyto hodnoty jsou uvedeny v následujícím výpočtu.

$$R = \frac{U_{zdr.} - U_d}{I_d} = \frac{5 - 2,2}{0,005} = 560\Omega \quad (17)$$



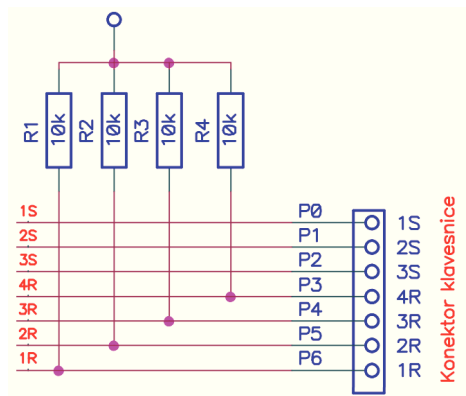
Obrázek 14: Zapojení obvodu 74HCT04



Obrázek 15: Zapojení obvodu 74HCT00

2.13 Maticová klávesnice

Ovládacím prvkem celého zařízení je maticová klávesnice. Jeden z hlavních důvodů jejího výběru byla úspora portů procesoru. Tato klávesnice vyžaduje pro obsluhu dvanácti tlačítek sedm signálových vodičů. Další výhodou této klávesnice jsou rozměry, které vyhovují zadaným požadavkům. Klávesnice je zapojena na port procesoru P4, který přímo budí sloupce a snímá řádky.



Obrázek 16: Zapojení klávesnice

Klávesnice má tři vstupy reprezentující sloupce a čtyři výstupy reprezentující řádky. Řádkové vodiče jsou udržovány na hodnotě log. 1 pomocí rezistorů R1 až R4 o hodnotě

10kΩ. Tyto rezistory jsou zapojeny jako zvedací (pull-up). Na jednotlivé sloupcové vodiče je přiváděna úroveň log. 0. Na této úrovni je vždy jeden sloupcový vodič, ostatní jsou na úrovni log. 1. Je-li stisknuta některá z kláves připojených na právě buzený vodič (tj. na úrovni log. 0), je tato úroveň klávesnicovým spínačem připojena i na příslušný řádkový vodič. Procesorem je z takto zadaných souřadnic zjištěn kód zmáčkuté klávesy.

2.14 Zvuková signalizace

Zvuková signalizace znázorněná na obrázku č. 17 je tvořena piezem, které je ovládáno tranzistorem T4. Báze tranzistoru T4 je zapojena přes R18 přímo na pin procesoru, kterým je T4 ovládán.

Maximální proud T4 v sepnutém stavu jsem zvolil $I_C = 6mA$. Je to maximální proud pieza uváděný výrobcem při napájení 5V. Od toho se odvíjí následující výpočet.

$$R_{17} = \frac{U_{cc} - U_{CEsat}}{I_C} = \frac{5 - 0,6}{0,006} = 733\Omega \quad (18)$$

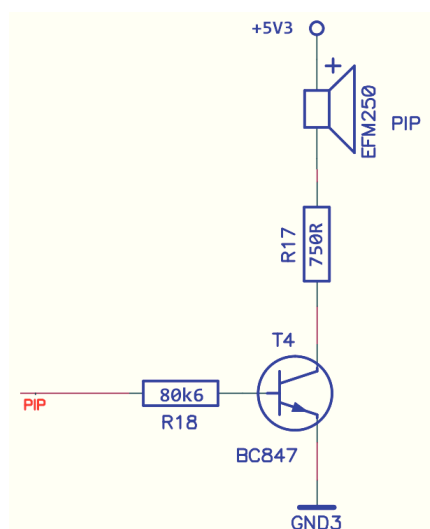
V zapojení jsem použil hodnotu 750Ω.

Proud báze vypočítáme podle následujícího vztahu.

$$I_B = \frac{I_C}{h_{fe}} = \frac{0,006}{110} = 55\mu A \quad (19)$$

$$R_{18} = \frac{5V - U_{BE}}{I_B} = \frac{4,4}{55 \times 10^{-6}} = 80\,000\Omega \quad (20)$$

V zapojení jsem použil hodnotu 80kΩ.

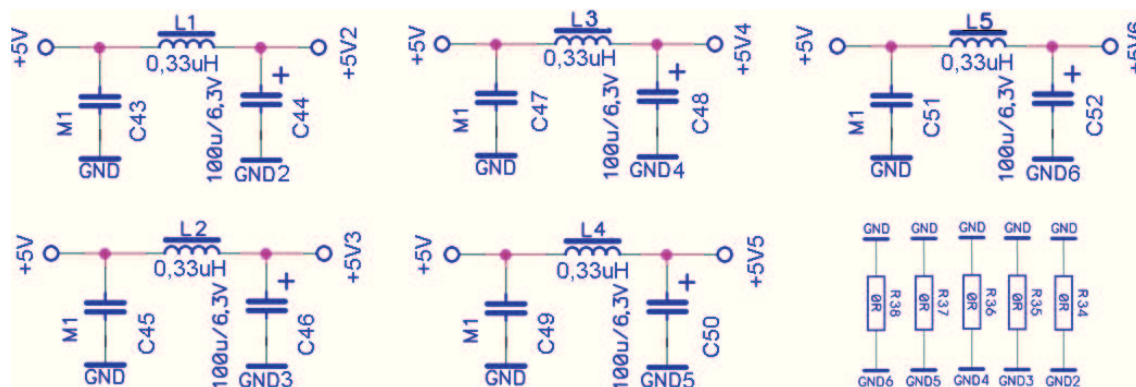


Obrázek 17: Zapojení pieza

2.15 Napájení zařízení

Celé zařízení je napájeno nabíjecími akumulátory umístěnými v pouzdře ručního snímače. Akumulátory jsou zdrojem energie pro napájení celého zařízení. Jelikož jsou umístěné v pouzdře ručního snímače, umožňují provoz kdekoliv bez ohledu na externí napájení. Použil jsem tři kusy AA, Ni-MH baterií o jmenovitém napětí 1,2V, 2500 mAh. Tyto baterie jsou zapojeny sériově. Součet jejich napětí, cca. 3,6V, je dostatečný pro použitý DC-DC měnič. Kapacita baterií je postačující pro několikahodinový provoz.

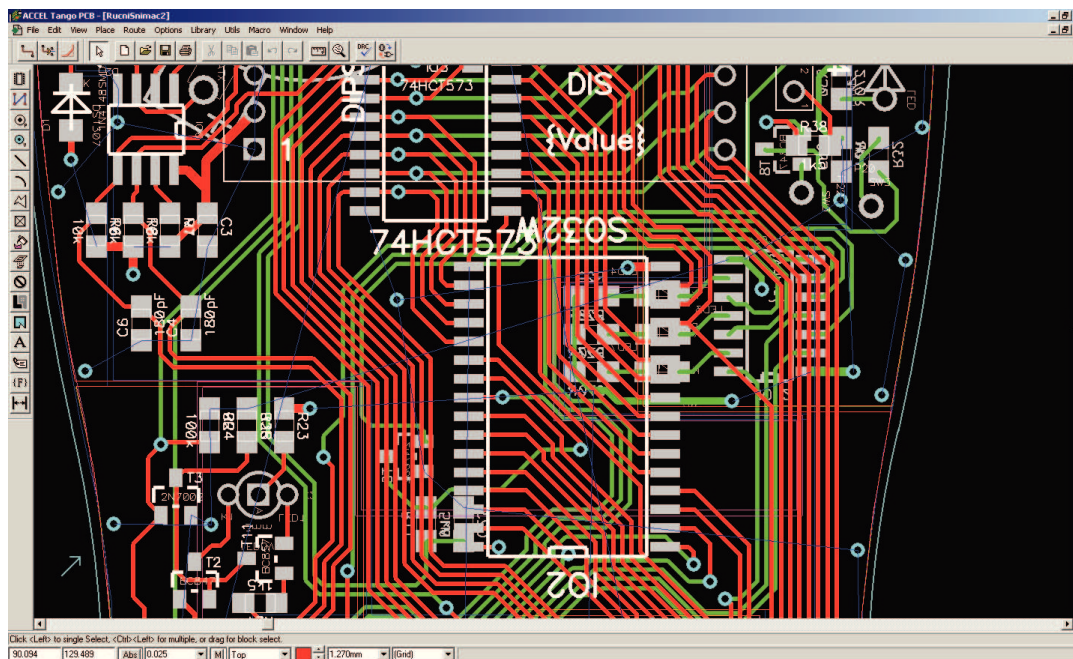
Z důvodu možného vzájemného ovlivňování jednotlivých částí zapojení jsem oddělil napájení příslušných obvodů LC filtrem. K oddělení GND jsem použil rezistor 0R.



Obrázek 18: Oddělení +5V a GND

3 Návrh plošného spoje

Návrh plošného spoje spočívá ve tvorbě pouzder součástek, nastavení technologických podmínek, načtení netlistu, definici obrysu desky, rozmístění součástek, návrhu vedení spojů, finálních úpravách, kontrole návrhových pravidel a generování technologických dat. Já jsem pro návrh plošného spoje použil program ACCEL Tango PCB. V každé fázi návrhu jsem se snažil mít na zřeteli následující tři hlediska.



Obrázek 19: ACCEL Tango PBC

1. Vytvořitelnost - snažil jsem se, aby byla navržená deska vytvořitelná. Musel jsem určit počet vrstev plošného spoje, respektovat třídy přesnosti a vůbec mít na zřeteli technologické možnosti výrobců a formáty výrobních technologických dat. Samozřejmě jsem bral do úvahy také ekonomické otázky.
2. Osazování a pájení - způsob osazování navrhované desky ovlivňuje požadavky pro definici pouzder součástek a jejich rozmístění na desce plošného spoje. Snažil jsem se, aby při pájení na vlně nebyla porušena pravidla o minimálních vzájemných vzdálenostech součástek.
3. Elektrická funkce – hledisko elektrické funkce je velmi obsáhlé. Na základě znalosti funkce obvodu navrhovaného plošného spoje musí být provedeno správné rozmístění součástek. Při návrhu vedení spojů jsem se snažil respektovat pravidla maximálního proudového a napětového zatížení spojů, impedance, zpoždění při šíření signálu, způsobu zemnění, odvodu tepla a hlavně elektromagnetické kompatibility. [8]

3.1 Nastavení technologických podmínek

Správné nastavení programu je velmi důležitým předpokladem pro celý další postup návrhu plošného spoje. Z hlediska návrhu plošného spoje jsem provedl nastavení především těchto položek rastru.

3.1.1 Rastr

Jedná se o nastavení kvantování rozměrových jednotek pro různé typy operací při návrhu plošného spoje. Rozlišujeme například rastr pro rozmísťování součástek, vedení spojů atd. Návrhové programy umožňují samozřejmě pracovat tzv. „bezrastrově“, což zpravidla šetří místo na plošném spoji. Tuto eventualitu jsem využil pouze pro řešení konkrétních jinak nevyřešitelných situací na plošném spoji a většinu času jsem pracoval se zapnutým rastrem. Při jeho nastavování jsem sledoval dva základní aspekty.

1. Použitá třída přesnosti z hlediska šířky spojů a izolačních vzdáleností. Z ekonomických důvodů jsem pokládal spoje s co možná největší hustotou na hranici třídy přesnosti. Používal jsem 5. třídu přesnosti tj. minimální šířka spojů a izolační vzdálenost 8 milu.
2. Rastr pro rozmístění součástek, resp. rastr umístění jejich pájecích plošek. Pro rozmístění součástek jsem používal rastr 25 milu (0,635mm).

Rastr pro rozmísťování součástek jsem tedy volil 25 milu. Rastr pro vedení spojů musí respektovat šířku spojů spolu s izolačními vzdálenostmi a zároveň se musíme „trefit“ do rastru pájecích plošek součástek. Splnit oba tyto požadavky celočíselným rastrem je někdy nemožné. Programy pro návrh plošných spojů proto umožňují zadávat rastr v podobě zlomku. V 5. třídě přesnosti, kterou jsem používal, je minimální šířka spojů a izolační vzdálenost 8 milu, vhodný rastr pro vedení spojů bude tedy $8\frac{1}{3}$.

3.2 Návrh desek plošných spojů z hlediska EMC

Elektronická zařízení a tedy i jejich DPS, musí být odolné proti rušení a samy nesmí vyzařovat rušení nad přípustnou mez. Oddělit od sebe návrhová pravidla pro potlačení vyzařování a vysokou odolnost nelze. Zpravidla totiž platí, že elektronické zařízení, které „nevyzařuje“ je zároveň odolné proti rušení.

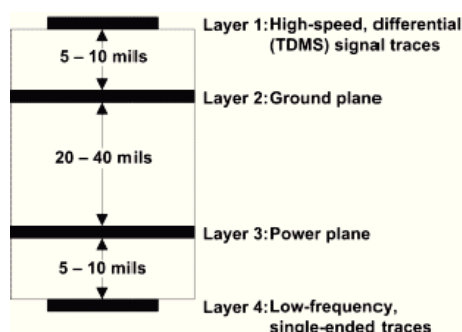
Návrh DPS je z hlediska vyzařování a odolnosti třeba chápat jako komplexní činnost, která začíná již při ideovém či blokovém návrhu schématu každého zařízení. Při návrhu DPS z hlediska elektromagnetické kompatibility jsem se snažil dodržovat především následující pravidla.

- Minimalizace hodnot proudů - volil jsem vhodné typy obvodů z hlediska vstupních impedancí a správné impedance vůbec.
- Minimalizace proudových smyček (resp. délek spojů) - snažil jsem se o vhodné rozmísťování součástek a vedení spojů, zemnění, správnou napájecí konfiguraci, správné blokování napájení pomocí kondenzátorů.

Zároveň dodržení tohoto pravidla zvyšuje odolnost zařízení před elektromagnetickým rušením. Minimalizace kmitočtového spektra - nepoužíval jsem zbytečně rychlé obvody (náběžné a sestupné hrany), zbytečně rychlou datovou komunikaci. Nezapomínal jsem také na filtraci a ochranu napájení a I/O svorek = ochrana před ESD a přechodovými jevy, omezení vyzařování do vedení. [8]

3.3 Vrstvy

Jedna z prvních otázek kterou jsem si při návrhu desky položil, byl počet použitých vrstev DPS. Počet vrstev je určen především hustotou součástek, počtem uzlů, systémem sběrnic, šumovou imunitou a systémem napájení, nutností vzájemné separace signálových spojů, impedancí atp.



Obrázek 20: Řazení vrstev DPS [8]

Význam vrstev, neboli přiřazení konkrétních signálových spojů a napájení do jednotlivých vrstev vyplývá z jejich obecných vlastností. Při návrhu vícevrstevných desek plošných spojů se používají tři druhy vrstev: Vnější signálové vrstvy (microstrip), vnitřní signálové vrstvy sousedící s vodivými plochami (stripline) a vodivé plochy určené pro nízkoimpedanční rozvod napájení (plane). Vrstvy typu „microstrip“ mají nižší parazitní kapacitu a tím i nižší přenosové zpoždění než vrstvy typu „stripline“. Díky stínění plochami mědi mají spoje typu „stripline“ vyšší odolnost vůči rušení a samozřejmě nezpůsobují vyzařování. Pro řazení vrstev DPS platí následující pravidlo. [8]

3.3.1 Řazení vrstev DPS

Jedná se především o určení počtu elektrických vrstev a jejich významu. Rozlišujeme vrstvy pro vedení signálových spojů (Routing Layer) a vrstvy s rozlévanou mědí jako napájecí a zemní zóny (Plane Layer). Při návrhu DPS bylo třeba počítat s tím, že deska bude schvalována v EMI.

Aby vznikl návrh desky s plošnými spoji s nízkou elektromagnetickou interferencí, použil jsem čtyři vrstvy. Vrstvy jsem uspořádal v tomto pořadí (sestupně).

1. signálová vrstva

2. uzemňovací vrstva
3. výkonová vrstva
4. vrstva kontrolního signálu

Směrování vysokorychlostních drah na vrchní vrstvu omezuje potřebu průchozích prokovení (a tím vliv jejich indukčních odporů).

- Umístění kvalitní uzemňovací vrstvy vedle vysokorychlostní signálové vrstvy zajišťuje kontrolovanou impedanci pro propojení přenosových linek a poskytuje ideální cestu s nízkým indukčním odporem pro zpětný tok proudu.
- Umístění výkonové vrstvy vedle uzemňovací vrstvy vytváří další vysokofrekvenční obtokový kapacitní odpor.
- Směrování pomalejších kontrolních signálů na spodní vrstvu vede k větší flexibilitě, protože tyto signály mají obvykle větší toleranci k nespojitostem, vznikajícím např. u průchozích prokovení. [8]

3.4 Směrovací pravidla

Při návrhu DPS jsem se snažil dodržovat pravidla pro směrování tras na desce s plošnými spoji, která jsou nezbytná pro udržení integrity signálu a nízké elektromagnetické interference. Držel jsem se hlavně níže uvedených doporučení.

1. Omezil jsem asymetrii páru způsobenou umístěním komponent a výstupů integrovaných obvodů tím, že jsem upravil ohyby podél cesty signálu. Snažil jsem se používat zkosené rohy s poměrem vzdálenosti k trase mezi 3 a 5. Vzdálenost mezi ohyby byla použita minimálně osmi- až desetinásobkem délky trasy.
2. Používal jsem 45° ohyby (zkosené rohy) místo pravoúhlých (90°) ohybů. Pravoúhlé ohyby zvyšují efektivní šířku trasy, která mění impedanci celkové trasy signálu a vytváří malé přerušení. 45° ohyby vykazují dokonce menší nespojitost.
3. Pokud jsem obcházel předmět, směroval jsem obě trasy páru paralelně. Rozdělení tras mění vzdálenost mezi linkami, což vede ke změně diferenciální impedance a vzniku disproporce.
4. Pokud jsem vedl trasy vedle průchozího pokovení nebo mezi sadou průchozích pokovení, dával jsem si pozor, aby prostor průchozího pokovení nepřerušoval cestu zpětného proudu na podložní zemní vrstvě.
5. Snažil jsem se používat co nejmenší velikost průchozích prokovení signálových tras a konektorových bloků, protože mají menší vliv na 100Ω diferenciální impedanci. Rozsáhlé průchozí pokovení a bloky mohou způsobit, že impedance klesne až pod 85Ω.

6. Umísťoval jsem velké kondenzátory (tj. $10\mu\text{F}$) blízko ke zdrojům, jako jsou stabilizátory napětí nebo místa, přes něž na desku s plošnými spoji přichází energie.
7. Umísťoval jsem menší kondenzátory ($0,1\mu\text{F}$ nebo $0,01\mu\text{F}$) k samotnému obvodu. [8]

3.5 Průchozí pokovení

Termín průchozí pokovení (anglicky "via") obvykle představuje pokovený otvor v desce s plošnými spoji. Vrstvy se pro propojení s průchozím pokovením napojí na podložku okolo průchozího pokovení. Vrstvy, které se nesmí spojit, jsou odděleny od průchozího pokovení oddělovacím prstencem. Každé průchozí pokovení má kapacitní odpor k uzemnění.

Protože kapacitní odpor roste proporcionálně s velikostí, trasové průchozí pokovení ve vysokorychlostních návrzích by mělo být co nejmenší, aby se omezilo snížení signálu způsobené vysokým přísunem energie. Když se připojují oddělovací kondenzátory na uzemňovací vrstvu nebo propojují uzemňovací vrstvy, indukční odpor průchozího pokovení se stává důležitější než jeho kapacitní odpor. Velkou změnu může způsobit změna délky průchozího pokovení nebo použití více průchozích pokovení paralelně.

Proto jsem se snažil připojovat oddělovací kondenzátory k uzemňovací vrstvě pomocí dvou paralelních průchozích pokovení na každé koncové zařízení. Pro spojení mezi uzemňovacími vrstvami, které má nízký indukční odpor, jsem použil více průchozích pokovení v pravidelných rozestupech po celé desce. [8]

3.6 Oddělovací kondenzátory

Oddělovací kondenzátory představují lokální zdroj napájení pro integrované obvody, které požadují větší množství napájecího proudu jako reakci na interní přepínání. Nedostatečné rozpojení způsobuje nedostatek požadovaného napájecího proudu, což může znamenat nesprávný chod integrovaného obvodu a vznik datových chyb v integritě signálu. Proto je nutné zajistit nízkou impedanci po celé škále požadovaných frekvencí. Z toho důvodu jsem se snažil o rozmístění oddělovacích kondenzátorů rovnoměrně po celé desce. Kromě správy integrity signálu pak oddělovací kondenzátory slouží i jako filtry elektromagnetické kompatibility, které zabráňují vysokofrekvenčním rádiovým signálům, aby se rozšířily po desce s plošnými spoji. [8]

3.7 Rozmístění součástek

Vhodné rozmístění součástek je základním předpokladem pro správnou funkci zařízení. Mezi základní principy rozmístění součástek, kterými jsem se řídil patří především;

- Rozmístění součástek směrem od vyšší k nižší šířce pásma.
- Vzájemná fyzická separace jednotlivých funkčních bloků (analogový, číslicový, oscilátor, I/O obvody, napájení atd.).

- Minimalizace vzdáleností za účelem minimalizace proudových smyček.

Při návrhu plošného spoje nejdříve musíme zvolit vhodné rozměry desky (dle místa, které máme k dispozici) a správně rozmístit součástky.

Nejprve jsem rozmísťoval součástky, které mají návaznost na mechanické uspořádání (potenciometry, přepínače). Pro rozmístění součástek jsem uplatňoval dle potřeby i další kritéria - minimální vzájemné rušení, co nejkratší cesty pro velké proudy, minimální vzájemné tepelné ovlivňování. Ostatní součástky jsem rozmísťoval rovnoměrně po desce tak, aby byly spoje co možná nejkratší. Snažil jsem se dodržovat určitá estetická hlediska, pokud zbytečně neprodlužovaly délku spojů. Součástky (zejména integrované obvody) by měly ležet v řadách a pro snadnější kontrolu by měly být stejně orientovány. Klasické rezistory, kondenzátory a diody orientuji v určité oblasti DPS vždy stejným směrem, ušetří se tím místo.

Velmi důležitým pravidlem je takzvané pravidlo H20, které říká, že na okrajích DPS musí vodivá plocha GND přesahovat napájecí plochu nebo signálové spoje o dvacetinásobek jejich vzájemné vzdálenosti. Důvodem je potlačení vyzařování do boku DPS (až 70%). U dvoustranné DPS, jejíž tloušťka je 1,5mm by ovšem tento přesah představoval 3cm, což je příliš mnoho, a tak se používá úpravy, kde se celá DPS obemkne zhruba 1mm širokým prstencem, pravidelně propojovaným pomocí prokůvů do vrstvy GND. [8]

3.8 Zemnění

Na přelomu fází rozmísťování součástek a návrhu spojů je nutné zvolit správnou metodu zemnění. Rozlišujeme dva druhy zemnění - jednobodové a vícebodové, přičemž u jednobodového rozlišujeme navíc sériové a paralelní zapojení.

3.8.1 Jednobodové zemnění

Jednobodové zemnění je vhodné především pro propojování obvodů se součástkami, jejichž kmitočtové spektrum nepřesahuje 1 MHz a neprojevuje se tak příliš významně parazitní indukčnost vodičů. Pro výběr mezi sériovým a paralelním zapojením musíme znát dobře princip funkce celého obvodu včetně toků jednotlivých významných proudů obvodem.

Obecně lze říci, že paralelní zapojení se zpravidla používá pro obvody, jejichž proudy I a I_3 mají srovnatelné úrovně a všechny bloky jsou vzájemně propojeny signály stejných úrovní. Sériové zapojení je vhodné spíše pro zapojení, jejichž signálová cesta vede postupně cestou $3 > 2 > 1$, přičemž úroveň signálu je vzestupná (například 3 = předzesilovač, 2 = korekce, 1 = koncový stupeň) a též proudy $I_i > I_2 > I_1$.

3.8.2 Vícebodové zemnění

V mém případě jsem použil vícebodové zemnění je vhodné pro vysokofrekvenční a tedy i číslicové obvody. Princip spočívá v tom, že každá součástka je co nejkratším přívodem propojena na nízkoimpedanční vodivou plochu - například rozlévanou měď v samostatné vrstvě DPS (GND). [8]

3.9 Blokování napájení

Blokování napájení pomocí kondenzátorů patří spolu se zemněním k nejdůležitějším pravidlům, kterým je třeba věnovat pozornost u všech desek plošných spojů. Nutnost použití blokovacích kondenzátorů vyplývá z faktu, že zpoždění průchodu signálu (a tedy i napájení) není nulové a tím pádem se každý jiný napájecí zdroj se nachází elektricky příliš daleko od spotřebiče.

Podle funkce rozlišujeme tři druhy blokovacích kondenzátorů

- Filtrační (bypassing) - slouží jako širokopásmový filtr pro napájení celé desky nebo její části, eliminuje vliv indukčností přívodů od napájecího zdroje, kontaktních přechodových odporů napájecích konektorů atd.
- Lokální (decoupling) - slouží jako lokální zdroj energie pro součástky a redukuje impulzní proudy, které by jinak protékaly celou deskou (například impulzní proud IP).
- Skupinový (bulk) - slouží jako zdroj energie pro současné nabíjení několika kapacitních zátěží (například impulzní proud IL).

Na modelové desce, napájené ze vzdáleného adaptéru a obsahující mikroprocesor s podpůrnými logickými obvody, tedy budeme mít konfiguraci všech tří druhů blokovacích kondenzátorů. [8]

4 Anténa

Pokud jde o samostatné slovo *anténa*, lze jeho původ hledat daleko v minulosti před vznikem rádiové komunikace a to ve starořeckých dobách. Ve skutečnosti je slovo anténa odvozeno od klasického latinského slova *antenna*, které údajně pochází od řeckého slova $\tauεινω$ (rozpřáhnutí). V latinském světě bylo slovo anténa původně spojeno s částí námořní lodi, něco jako příčné dřevěné ráhno na vertikálním stožáru nebo později jako vertikální stožár samotný, později i kovový. Údajně byl poprvé termín anténa použit G. Marconim v roce 1909.

Anténa je zařízení spojené s oblastí přechodu mezi elektromagnetickým vlněním šířícím se podél vedení napáječe a elektromagnetickým vlněním ve volném prostoru nebo naopak. Jde o určitý transformátor typu elektromagnetické vlny. V případě vysílání vysílací anténa přejímá energii z napájecího vedení a vysílá ji do prostoru. V případě příjmu přijímací anténa sbírá energii s přicházející vlny a předává ji dále podél vedení. V zásadě může každá anténa vysílat nebo přijímat (princip reciprocity). V technické praxi se používají různé druhy antén, které se navzájem liší a můžeme je třídit a seskupovat podle různých hledisek, např. podle typu, metody návrhu, nebo podle druhu použití. [12]

U RFID systémů je anténa nedílnou součástí jak čtečky, tak samotného tagu. Typy antén používaných u jednotlivých tagů se dělí podle frekvenčního pásma, velikosti, tvaru, dosahu, směrovosti a samozřejmě také ceny. Čtečky se dělí na zařízení s interní nebo externí anténou, případně kombinované. Dále se u každé čtečky přizpůsobují jednotlivé antény jejímu tvaru (v případě že jsou interní), frekvenčnímu pásmu čtečky, dosahu a také ceně antény.

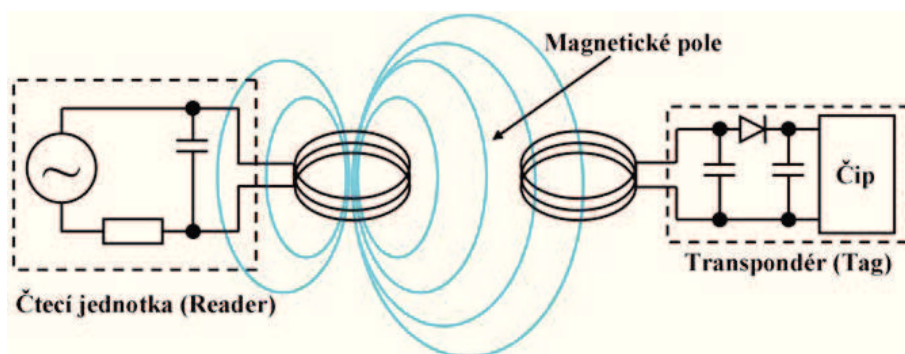
4.1 Požadované frekvenční pásmo

Navrhované antény jsou pro čtecí jednotku pracující na frekvencích 125kHz (nízkofrekvenční LF pásmo) a 13,56MHz (vysokofrekvenční HF pásmo). Je to systém založený na indukční vazbě přenosu energie. Radiový signál je efektivně vyzářený, pokud je délka antény porovnatelná s vlnovou délkou pracovní frekvence používaného systému. Ale například při frekvenci 125kHz by anténa musela podle jednoduchého výpočtu měřit přibližně 2398m, při frekvenci 13,56 MHz by to bylo 22,11m. Pokud vlnové délky mnohonásobně přesahují vzdálenost mezi čtecím zařízením a samotným tagem, můžeme elektromagnetické pole zjednodušit jen na časově proměnné magnetické pole. Proto se namísto rozměrných antén používá obvod s malou smyčkou (cívkou), která je naladěná tak aby rezonovala na zvolené pracovní frekvenci. Nejjednodušší systém založený na této indukční vazbě je schopný přenést informaci jednoho bitu bez přítomnosti mikročipu v tagu.

Princip přenosu je možné zjednodušeně popsat takto: Čtecí zařízení generuje časově proměnné magnetické pole. Pokud se tag s LC rezonančním obvodem dostane do blízkosti tohoto pole, v rezonančním obvodu se na přítomné cívce vytvoří indukované napětí (tuto skutečnost popisuje tzv. indukční zákon, známý také jako Faradayův zákon). Pokud je frekvence čtecího zařízení shodná s rezonanční frekvencí LC obvodu tagu, obvod

začne kmitat. Na základě Lenzova pravidla je poté možno tvrdit, že magnetické silové účinky pole vyvolané indukovaným proudem v cívce tagu se snaží zabránit změně, kterou byl tento proud způsoben. To se v praxi projeví malou změnou napětí na cívce čtecího zařízení. Tato změna může být detekována např. na další senzorové cívce, která je součástí tohoto čtecího zařízení. Velikost změny napětí je pak podmíněná vzdáleností mezi jednotlivými cívkami a činitelem kvality rezonančního obvodu tagu. Na zvýraznění této malé změny se potom používá systém, který opakovaně a postupně zvyšuje frekvenci generovaného magnetického pole mezi dvěma hraničními frekvencemi. Pokud vložíme tag do takto speciálně generovaného pole, tak se v případě rezonanční frekvence změna projeví výraznějším skokem na straně čtecího zařízení.

Pokud chceme mezi tagem a zařízením přenést více než jednobitový údaj, je třeba do tagu umístit čip. Ten dokáže uchovat údaj s kapacitou i několika kilobajtů. Celý systém je možné vidět na obr. 21. Cívka obsažená v tagu a kapacita C1 zde tvoří rezonanční obvod naladěný na pracovní frekvenci čtecího zařízení. Princip přenosu vícebitových informací je možné zjednodušeně popsat takto: Část vyzářeného pole z antény čtecího zařízení přejde cívkou tagu, díky čemuž se na ní vytvoří napětí. Toto napětí se usměrní a využije pro napájení mikročipu. Podle údajů v mikročipu se postupně mění odpor nebo paralelní kapacita v obvodu čipu, co způsobuje změny v impedanci vysílané cívky čtecího zařízení (podobně jako to bylo v případě jednobitové značky). Pomocí vyhodnocovací procedury je možné tyto změny na straně čtecího zařízení zpětně převést na údaje, které byly uloženy v mikročipu, a dále je zpracovat podle druhu použité aplikace. [13]



Obrázek 21: Přenos dat mezi čtečkou a tagem [17]

4.2 Požadovaný čtecí dosah antény

Dosah antény závisí na mnoha faktorech; na vyzářeném výkonu antény, ten je určen místními předpisy, na směrovosti antény, vnějších vlivech a okolním prostředí antény. Dosah antény je maximální vzdálenost, ve které je čtecí zařízení možno zaznamenat napěťovou odezvu z tagu, kterou můžeme vyjádřit rovnicí. [15]

$$r = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t G_t G_r \tau}{P_{th}}} \quad (21)$$

r – read range (dosah)
 λ – vlnová délka
 P_t – výkon čtečky tagu
 G_t – zisk antény čtečky
 G_r – je zisk antény tagu
 P_{th} – minimální výkon dodaný anténou nutný k napájení čipu
 τ – přenosový koeficient [13]

4.3 Výkon antény

Od výše zmiňovaných parametrů se odvíjí také výkon antény, který má také vliv na její čtecí dosah. Celkový anténou vyzářený výkon P_r je dán rovnicí. [12]

$$P_r = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \Phi(0, \varphi) d\Omega \quad (22)$$

$d\Omega$ - jednotkový prostorový uhel.

4.4 Vstupní impedance

Impedanci antény lze charakterizovat jako poměr napětí a proudu, případně elektrické a magnetické složky elektromagnetického pole v určitém místě antény. Každá anténa z pohledu připojení k RFID jednotce představuje určitou impedanci. Nejdůležitější je znalost impedance v místě připojení na napáječ, pak se jedná o vstupní impedanci antény. Pokud bude vstupní impedance rozdílná od zbytku řetězce na nějž je připojena, bude na spoji různých impedancí vznikat stojaté vlnění a tím ztráty přenášeného výkonu.

Vstupní impedance antény se skládá z reálné a imaginární složky a může nabývat kapacitního nebo induktivního charakteru. Velikost složek a charakter vstupní impedance jsou určeny vlnovou délkou λ , geometrickým uspořádáním antény a výškou antény nad zemí. Reálnou složku vstupní impedance tvoří v rezonanci vyzařovací odpor antény R_r , který určuje jakou má anténa schopnost při určité frekvenci převést energii do prostoru, nebo naopak. Velikost vyzařovacího odporu lze určit z výkonu P vyzářeného anténou a z efektivního proudu I protékajícího anténou. R_r tedy spočítáme podle vztahu. [12]

$$R_r = \frac{P}{\left(\frac{I_{max}}{\sqrt{2}}\right)^2} = \frac{P}{I^2} \quad (23)$$

Pro optimální vyzáření výkonu je důležité přizpůsobení impedance antény s napáječem. To znamená, že jejich impedance musí být shodná. Míru přizpůsobení antény určuje tzv. poměr stojatých vln PSV (VSWR – Voltage Standing Wave Ratio). PSV je dáno poměrem maxima a minima stojaté vlny. Je možné jej také definovat jako poměr vstupní impedance antény. Za charakteristické impedance vedení Z_0 . [12]

$$PSV = \frac{|U|_{max}}{|U|_{min}} \quad (24)$$

PSV	Vyzářený výkon v %	Vyzářený výkon ve W
1,0	100	4
1,2	99	3,96
1,5	95	3,80
2	89	3,56
3	75	3,00
5	55	2,20
10	34	1,36
20	18	0,72

Obrázek 22: Tabulka znázorňuje, jaká část výkonu je při daném ČSV využita [9]

4.5 Doba setrvání tagu v magnetickém poli antény

Zápis a čtení různých datových bloků z tagu, mohou mít různá časová nastavení. Proto je třeba zajistit setrvání tagu v magnetickém poli antény čtecí jednotky po optimální dobu, aby došlo ke kompletní transakci dat mezi čtečkou a tagem. Zmiňovaná doba se prodlužuje s velikostí dat potřebných k přenosu.

Čím více údajů je načítáno nebo zapisováno tím delší dobu je třeba k setrvání tagu v magnetickém poli, což je také úzce spjato s rychlostí pohybu tagu poli. Obdobně je to také při vkládání většího počtu tagů do magnetického pole současně. Také bude třeba delší doba k načtení všech dat, než by tomu bylo při vkládání jednotlivých tagů.

4.6 Limity výkonu antény a vnější vlivy

V RFID systémech jsme při plánování bezdrátových spojů omezení důležitým faktem - úroveň vysílaného signálu na výstupu z antény nesmí přesáhnout určitou maximální hodnotu. Ta je stanovena Českým telekomunikačním úřadem (ČTÚ) v tzv. Generální licenci č. GL-12/R/2000.

Vzhledem k praktické nemožnosti dosáhnout dokonalé elektromagnetické kompatibility jakéhokoli zařízení, je nutno měřením ověřit dodržení maximálních přípustných hodnot rušivých signálů pro daný typ antény. Rušivé signály mohou z antény vystupovat, případně do ní vstupovat třemi možnými způsoby. Účinným prostředkem k omezení přenosu elektromagnetického rušivého signálu šířícího se vyzařováním od zdroje rušení k příjemci je stínění. Jde o vložení vhodné přepážky do cesty elektromagnetické vlny, v praxi o realizaci vhodného stínicího krytu nebo o použití skříně zařízení, která vedle dalších konstrukčních cílů zároveň plní funkci stínění. Přitom může stínění fungovat jako ochrana zařízení před přicházejícími rušivými signály nebo jako omezení emisí rušivých signálů ze zařízení.

Přenos vedením (napájecí, nebo datové vedení) - do těchto vodičů se rušivý signál dostane přímým galvanickým spojením (např. pokud je zdroj rušení napájen ze stejné sítě),

kapacitní nebo indukční vazbou při souběhu rušících a rušených vedení nebo indukci z rušivého elektromagnetického pole. Jedním ze základních odrušovacích prostředků, který je u RFID zařízení používán, je tlumivka. Pro nízké kmitočty je reaktance tlumivky velmi malá, takže užitečný nízkofrekvenční signál neomezuje. Naopak vysokofrekvenční rušivý signál je velkou reaktancí tlumivky potlačován. Odrušovací funkce tlumivky je zvláště výrazná u obvodů s malou impedancí, kde impedance zdroje i zátěže jsou mnohem menší než reaktance tlumivky. Odrušovací tlumivky jsou obvykle navinuty na feritovém jádru např. toroidu).

Přenos vyzařováním elektromagnetických vln (vzdáleným elektromagnetickým polem) - uplatňuje se především mezi vzdálenými objekty na vyšších rádiových kmitočtech. Ve vzdáleném poli je kvalita stínění téměř shodná pro elektrickou i magnetickou složku. Účinnost stínění je ovlivněna různými jevy, ke kterým na stínicí přepážce dochází. Z hlediska požadované funkce je na prvním místě odraz přicházející elektromagnetické vlny. K němu při použití kovové stínicí přepážky dochází na straně přicházející vlny. Účinnost odrazu proto nezávisí na tloušťce stínicí vrstvy, při dobré vodivosti lze použít i tenkou fólii.

Přenos elektrickou či magnetickou vazbou (blízkým elektromagnetickým polem) - probíhá mezi dvěma blízkými objekty či zařízeními. V blízkém poli se kvalita stínění pro obě složky liší. Rozdíl oproti předchozímu případu je v útlumu odrazem, který je větší pro elektrickou složku. Naopak útlum magnetické složky je menší a klesá směrem k nižším kmitočtům, pro které je pouze elektricky vodivá tenká fólie téměř neúčinná, takže v těchto případech se pro odstínění používá silnější feromagnetický materiál. [7]

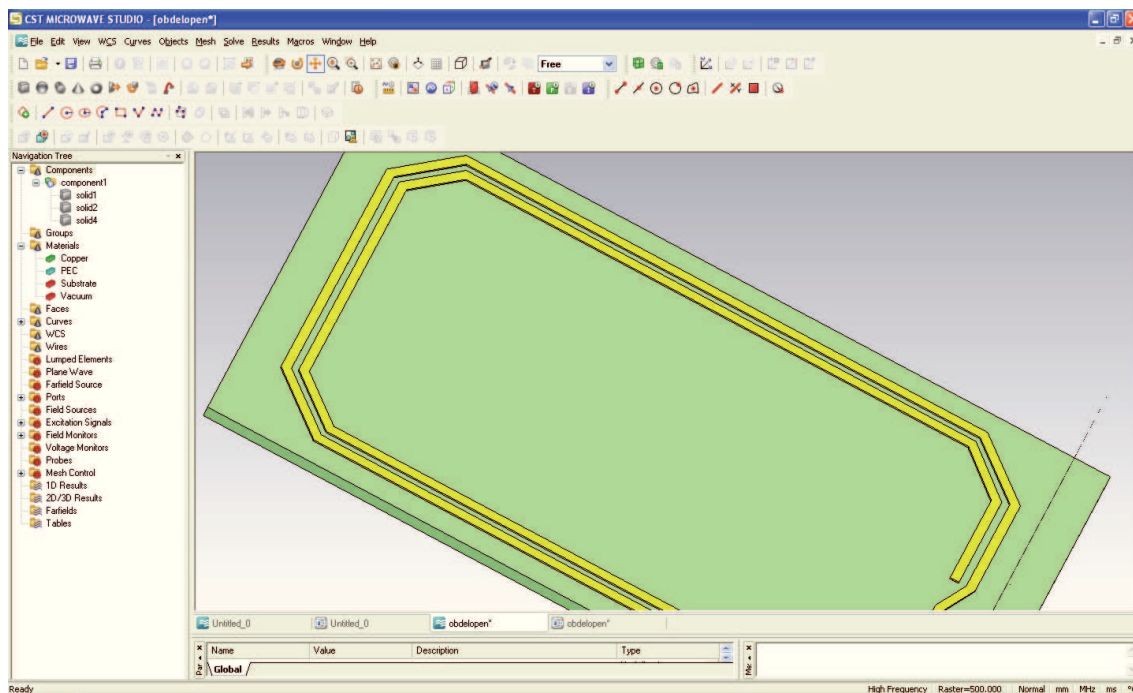
5 Postup při výběru antén pro simulaci

Pro realizaci antén RFID čtečky můžeme vybírat z několika typů. Hlavním požadavkem při výběru byl pro mě dosah antény. Vybrat správnou anténu je velmi důležité pro dosažení optimálního pracovního dosahu. Velikost indukovaného napětí je ovlivněna činitelem jakosti rezonančního obvodu antény. Smyčkové antény jsou doporučeny jako nejvhodnější pro tvorbu magnetického pole, které je nutné k přenosu energie k tagu a zpět. Intenzita magnetického pole je míra výstupního výkonu, jejíž hodnota je pro úspěšnou funkci HF tagu požadována okolo 100mA/m ($152\text{dB}\mu\text{A/m}$).

5.1 Návrh antén

Při návrhu jednotlivých antén jsem vycházel z prakticky ověřených modelů, které byly případně upraveny na základě příslušných výsledků simulátoru CST Microwave Studio. Jedná se o 3D simulátor elektromagnetického pole, pracující v časové oblasti metodou konečných integrálů (FIT). S jeho pomocí je možné řešit velmi širokou třídu úloh zahrnující antény a pasivní mikrovlnné obvody.

Velkou výhodou je relativně snadná práce s programem. Výstupy programu kromě rozptylových S parametrů zahrnují rovněž vizualizaci veličin elektromagnetického pole a vyzářovací charakteristiky. Je vhodný pro analýzu prostorových struktur. Při modelování jednotlivých antén v komerčním simulátoru byly uvažovány parametry jednotlivých antén uvedené u příslušného modelu.



Obrázek 23: CST Microwave Studio

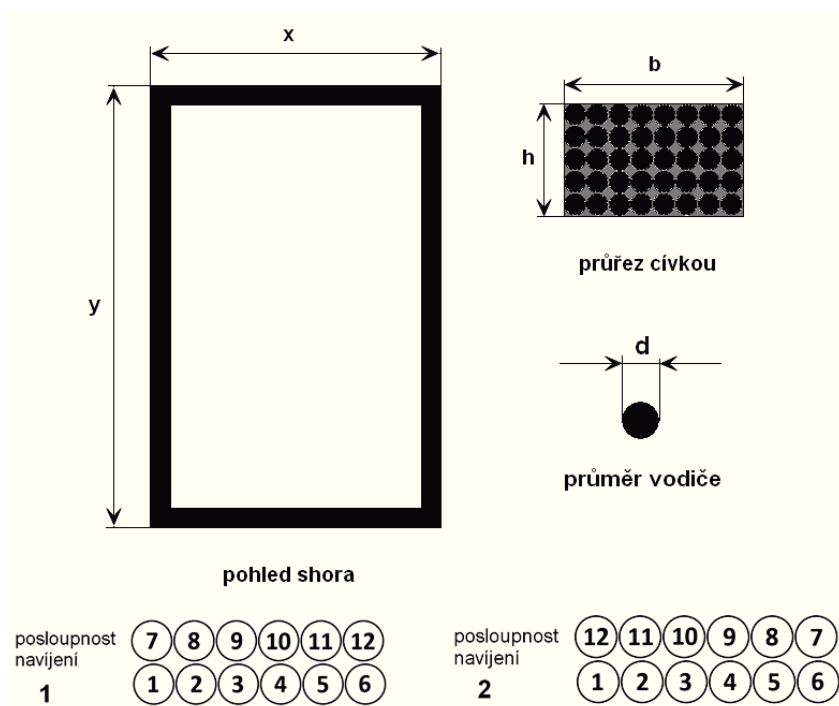
5.2 Anténa pro rezonanční kmitočet 125kHz

Pro obvod HTRC110 pracující na rezonanční kmitočtu 125kHz jsem zvolil anténu tvořenou cívkou z Cu vodiče Thermko 210 2L s pláštěm z Theic-modifikovaného polyesteru. Nepoužíval jsem klasický smaltovaný drát. Smalt má velkou permitivitu, která se projeví zvýšením ztrát výkonu antény.

Při modelování tohoto typu antény v komerčním simulátoru byly uvažovány různé profily, průměry použitého vodiče a posloupnost jeho navíjení. Rozměry antény bylo nutné přizpůsobit omezenému prostoru pouzdra snímače určenému pro uložení antény. Využil jsem maximálního volného místa což v mém případě činila plocha o rozměru 60x30mm. Z tohoto důvodu byl při simulaci parametrů antény ve všech případech uvažován pouze tento rozměr.

Je velmi důležité, aby byla anténa co nejlépe impedančně přizpůsobená. Z toho důvodu je jedním z hlavních parametrů vstupní činitel odrazu s_{11} . Tento činitel má být co nejmenší. Indukčnost antény použité pro obvod HTRC110 je poměrně nekritická. Při provozu HTRC110 v normálním režimu tj. $\hat{I}_{ant_{max}} = 200mA$ je doporučená indukčnost antény $L_a \leq 800\mu H$. Tato hodnota nebyla překročena při simulaci antény v CST Microwave Studio.

Napájení antény bude v mém případě uskutečněno pomocí koaxiálního kabelu. Napájení koaxiálním kabelem je jedním ze základních způsobů napájení. Při delším kabelu je doporučena nižší kapacita. U kabelu do tří metrů, což je náš případ, je doporučena kapacita vyšší. Proto jsem použil koaxiální kabel RG 58 o impedanci 50Ω ($C_p = 101pF/m$).



Obrázek 24: Cívková anténa

5.3 Cívková anténa obdélníkového tvaru

Návrh byl realizován v komerčním simulátoru CST Microwave Studio. Pro naši simulaci byla uvažována cívka vinutá Cu vodičem Thermko 210 2L s pláštěm z Theic-modifikovaného polyesteru. V simulaci byly měněny parametry.

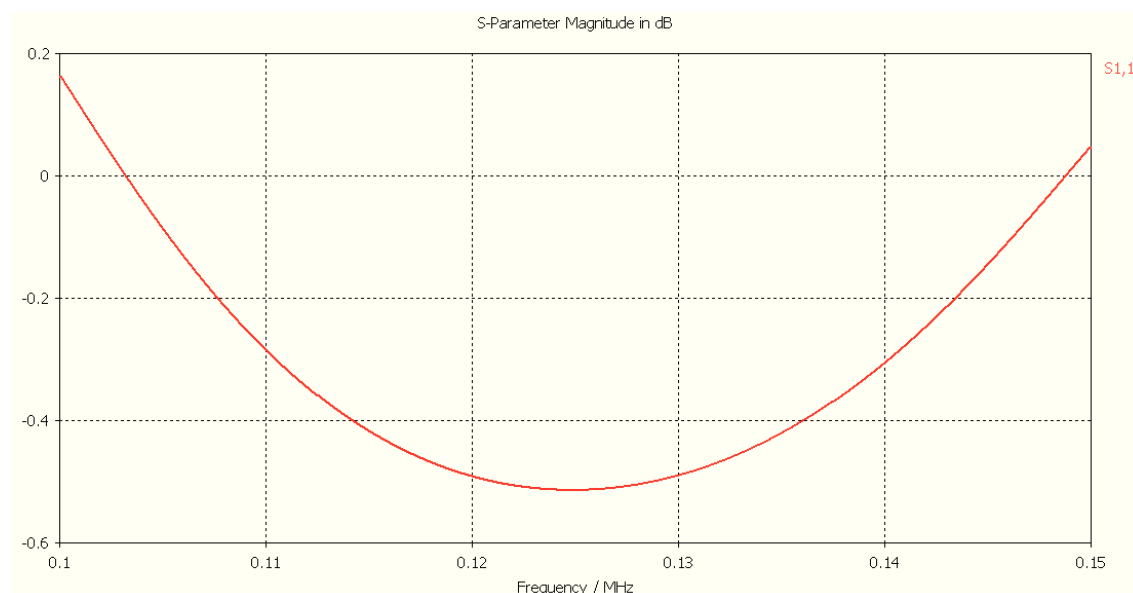
- d - průřez vodiče
- c - počet závitů
- e - posloupnost navíjení

Napájení bylo tvořeno koaxiálním kabelem RG 58 o impedanci 50Ω . V následující tabulce a grafech jsou zobrazeny parametry cívky z hlediska nejlepšího dosaženého impedančního přizpůsobení a průběhu činitele odrazu na vstupu antény S_{11} , které byly vybrány z jednotlivých simulací provedených v CST Microwave Studio.

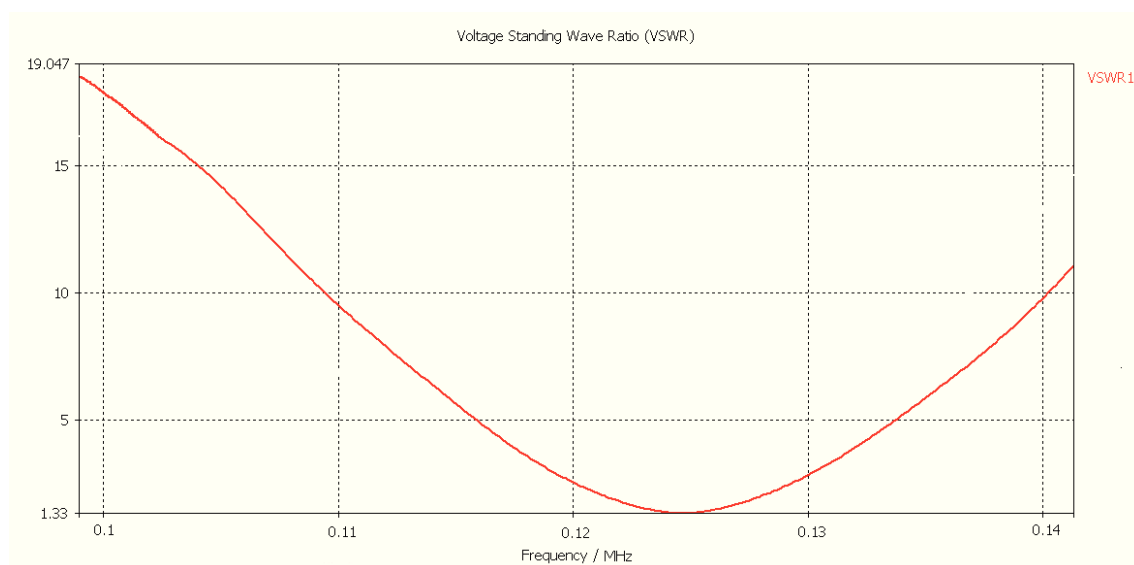
Parametry	x	y	h	b	d	e	c
Hodnoty [mm]	30	60	16	20	0.25	2	80

Tabulka 1: Parametry cívkové antény

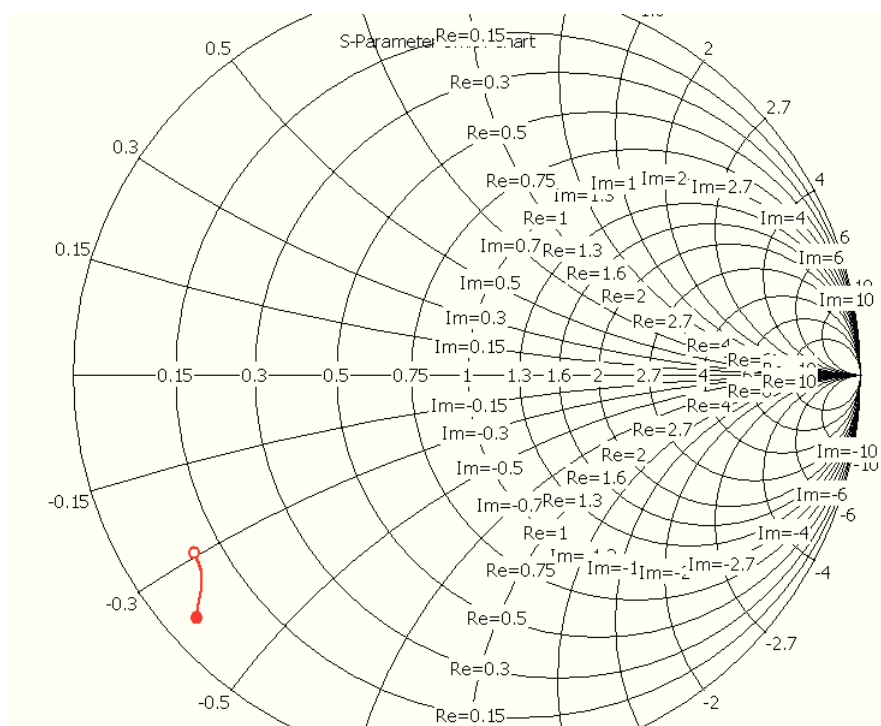
Program CST Microwave Studio vykresluje kmitočtový průběh činitele odrazu na vstupu antény S_{11} do kartézského grafu a Smithova diagramu. V dalším grafu pak průběh poměru stojatých vln na vstupu antény. A poslední simulace znázorňuje magnetické pole vyzařované anténou.



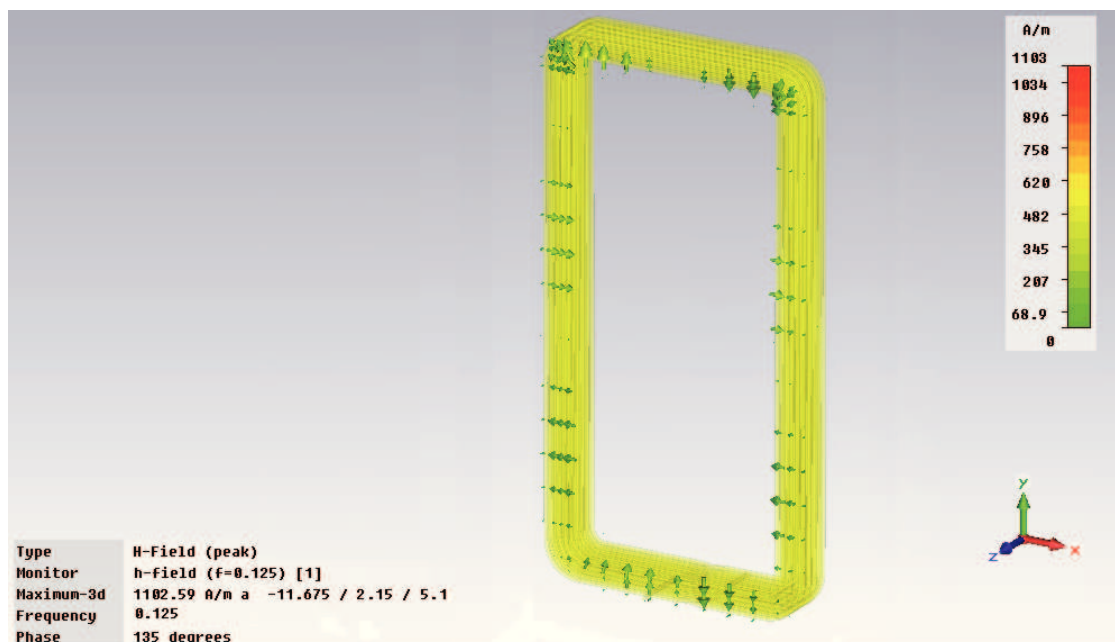
Obrázek 25: Kmitočtový průběh modulu činitele odrazu na vstupu antény S_{11}



Obrázek 26: Průběh poměru stojatých vln na vstupu antény



Obrázek 27: Kmitočtový průběh modulu činitele odrazu zobrazený ve Smithově diagramu



Obrázek 28: Simulace magnetického pole vyzařované anténou (výřez antény)

Indukčnost antény jsem vypočítal podle následujícího vzorce. [1]

$$L = \frac{0,0276 (CN)^2}{1,908C + 9b + 10h} \quad (25)$$

L – indukčnost antény

N – počet závitů

$C = x + y + 2h$

x – šířka cívky

y – výška cívky

h – šířka vinutí

b – šířka vinutí

Všechny rozměry jsou v centimetrech.

Po dosazení hodnot uvedených v tabulce dostaneme $541 \mu H$.

Velikost odporu vodiče R závisí na geometrických rozměrech vodiče a na materiálu vodiče. Odpor jsem vypočítal podle následujícího vzorce. [1]

$$R = \frac{\rho l}{S} [\Omega, \Omega mm^2 m^{-1}, m, mm^2] \quad (26)$$

ρ – měrný odpor vodiče

$\rho_{CU} = 0,0178 [\Omega mm^2 m^{-1}]$

l – délka vodiče [m]

S – průřez vodiče [mm^2]

Po dosazení dostaneme $4,57 \Omega$.

5.3.1 Určení činitele jakosti rezonančního obvodu antény

Výkon antény úzce souvisí s hodnotou činitele jakosti rezonančního obvodu. S rostoucí Q se přenos dat v pásmu snižuje. Proto existuje horní hranice pro anténní činitel jakosti. Jako horní Q -limit je doporučena hodnota 20. Menší Q jsou obvykle nekritické. Vyšší Q může vést ke snížení modulační amplitudy. Činitel jakosti jsem vypočítal podle následujícího vzorce. [1]

$$Q_a = \frac{2\pi f_o L_a}{R_{ant}} \quad (27)$$

Q_a – činitel jakosti antény

L_a – indukčnost antény

f_o – pracovní kmitočet antény

R_{ant} – odpor vinutí antény včetně vedení, přizpůsobovacího odporu a odporu mezi svorkami TX1, TX2

Po dosazení dostaneme 13,36.

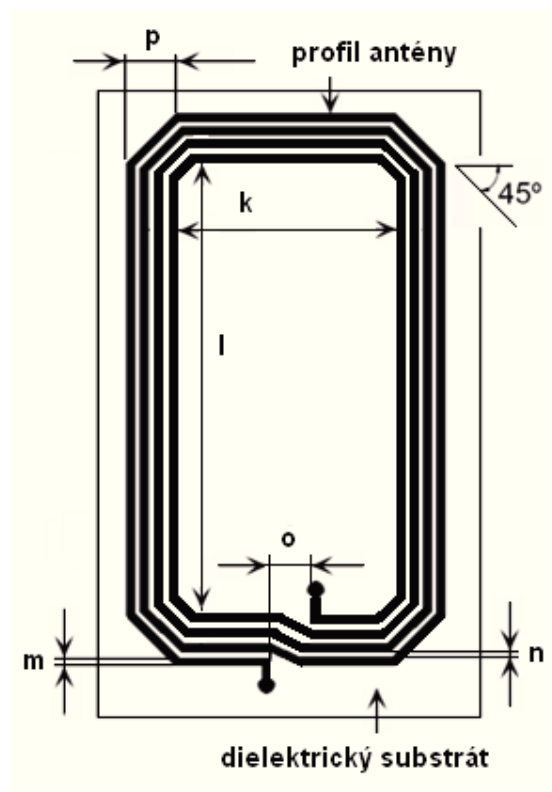
5.4 Anténa pro rezonanční kmitočet 13,56MHz

Pro obvod MFRC500 Mifare RWD pracující na rezonanční kmitočtu 13,56MHz jsem zvolil mikropáskovou anténu. Mikropásková anténa se skládá z vodivé vrstvy oddělené tenkým dielektrickým substrátem. Na trhu v dnešní době nabízejí různí výrobci mnoho vysokofrekvenčních materiálů s dielektrickou konstantou ϵ_r v rozsahu od 1,2 do asi 23 a koeficientem dielektrických ztrát $tg\delta$ od 1×10^{-4} do 4×10^{-3} . Polytetrafluoroethylenové (PTFE) substráty, které jsou vyztužené buď skleněným tkanivem, nebo nepravidelnými skleněnými vlákny, bývají velmi často používány kvůli jejich výhodným elektrotechnickým a mechanickým vlastnostem.

Zde jsem rovněž jako u antény pro 125kHz využil maximálního volného místa což v mém případě činila plocha o rozměru 60x30mm. Z tohoto důvodu bylo při simulaci parametrů antény ve všech případech uvažován pouze tento rozměr.

Napájení antény bude v našem případě uskutečněno pomocí koaxiálního kabelu. Napájení koaxiálním kabelem je jedním ze základních způsobů napájení mikropáskových antén. Vnější vodič koaxiálního konektoru je připojen k zemní desce substrátu a středový koaxiální vodič je po průchodu substrátem připájený ke kovovému anténnímu prvku v takovém místě, v němž je dosaženo impedančního přizpůsobení.

Vybuzení páska vzniká principiálně díky vazbě napájecího proudu tekoucího středním vodičem koaxiálního vedení a složky intenzity elektrického pole E_z . Výhodou mikropáskových antén je malá hmotnost a nízký profil s možností umístění ladících obvodů přímo na desce antény. Jejich nevýhody spočívají v nižší účinnosti, nižší výkonové zatížitelnosti a užší šířce pásma (vyšší Q). Pro správnou funkčnost antény Mifare RWD je třeba aby se její indukčnost pohybovala v rozmezí 0,3 – 1,5 μH .



Obrázek 29: Mikropásková anténa obdélníkového tvaru

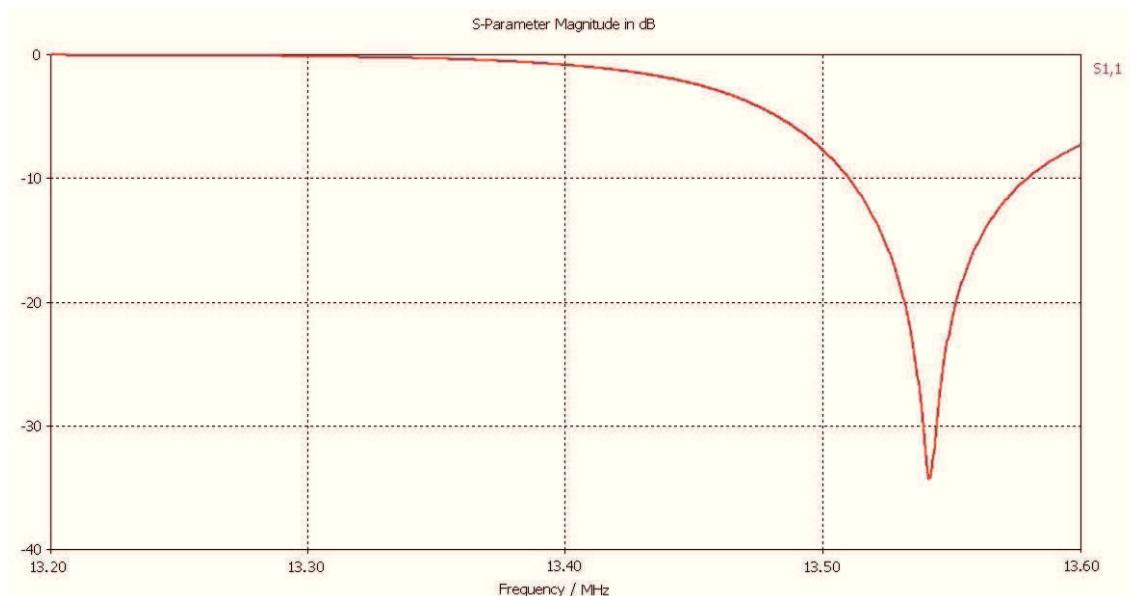
5.5 Mikropásková anténa obdélníkového tvaru

Návrh byl realizován v komerčním simulátoru CST Microwave Studio. Pro naši simulaci byl uvažován jednostranně pokovený substrát FR4 s šířkou dielektrické vrstvy 1,5 mm. Tenká měděná fólie měla tloušťku 0,036 mm ($\epsilon = 4,71$; $\tan\delta = 0,010$). Napájení bylo tvořeno koaxiálním kabelem RG 58 o impedanci 50Ω . V tab. 2 jsou uvedeny hodnoty parametrů, které byly upraveny pro rezonanční kmitočet 13,56MHz.

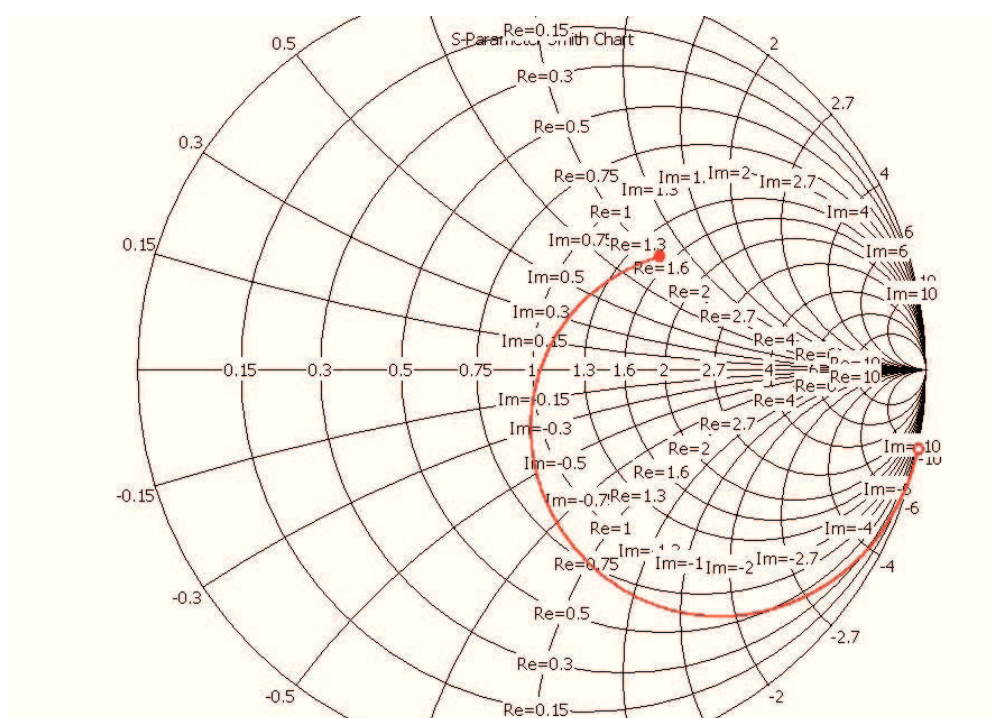
Parametry	k	l	m	n	o	p
Hodnoty [mm]	20,6	50,6	0,7	0,3	8	4

Tabulka 2: Parametry mikropáskové antény obdélníkového tvaru

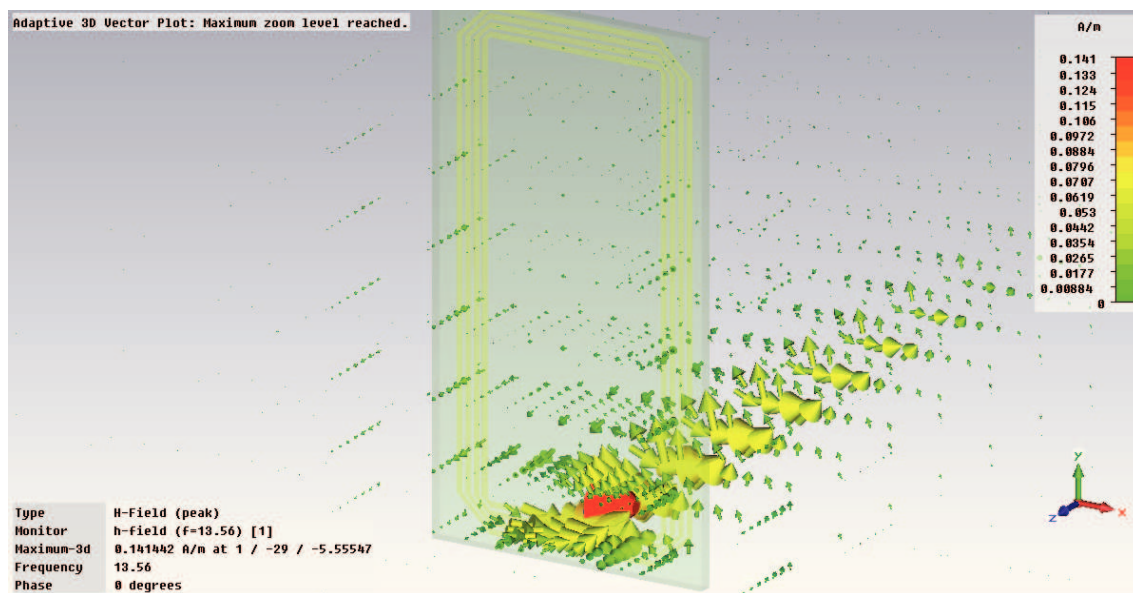
Program CST Microwave Studio vykresluje kmitočtový průběh činitele odrazu na vstupu antény S_{11} do kartézského grafu a Smithova diagramu. V dalším grafu pak průběh poměru stojatých vln na vstupu antény. Poslední simulace znázorňuje magnetické pole vyzařované anténou.



Obrázek 30: Kmitočtový průběh modulu činitele odrazu na vstupu antény S1.1



Obrázek 31: Kmitočtový průběh modulu činitele odrazu zobrazený ve Smithově diagramu



Obrázek 32: Simulace magnetického pole vyzařované anténou (výřez antény)

Indukčnost antény jsem vypočítal podle následujícího vzorce. [1]

$$L = 2l \left(\ln \left(\frac{l}{D} \right) - K \right) K^{1,8} \quad (28)$$

L – indukčnost antény

l – délka vodiče jednoho závitu antény

D – průměr závitu antény

K – 1,47 - konstanta

N – počet závitů

\ln – přirozený logaritmus

Po dosazení parametrů z tab. 2 dostaneme hodnotu $0,313\mu H$.

Velikost odporu antény jsem vypočítal podle následujícího vzorce. [1]

$$R_{ant} = \frac{\rho l}{S} [\Omega, \Omega mm^2 m^{-1}, m, mm^2] \quad (29)$$

ρ – měrný odpor vodiče

$\rho_{CU} = 0,0178 [\Omega mm^2 m^{-1}]$

l – délka vodiče [m]

S – průřez vodiče (0,0252) [mm²]

Po dosazení dostaneme 0,424Ω.

Q_a - činitel jakost antény se odvíjí od geometrické konstrukce antény. V našem případě po dosazení do vzorečku níže dostaneme hodnotu 62,89Ω. Toto je ale příliš vysoká hodnota

pro přenos dat pohybující se okolo 100kbit/s. Proto je třeba do obvodu zařadit externí rezistor R_{ext} , který sníží hodnotu činitele jakosti antény na 35. [1]

$$Q_a = \frac{2\pi f_o L_a}{R_{ant}} \quad (30)$$

Q_a – činitel jakost antény

L_a – indukčnost antény

f_o – pracovní kmitočet antény

R_{ant} – odpor vinutí antény

Hodnotu R_{ext} zjistíme pomocí následujícího výpočtu. [11]

$$R_{ext} = \frac{2\pi f_o L_a}{35} - R_{ant} \quad (31)$$

Po dosazení dostaneme 0,34Ω. Nejbližší hodnota 0,33Ω. Hodnotu kondenzátoru C_1 vy počítáme podle následujícího vzorce. [11]

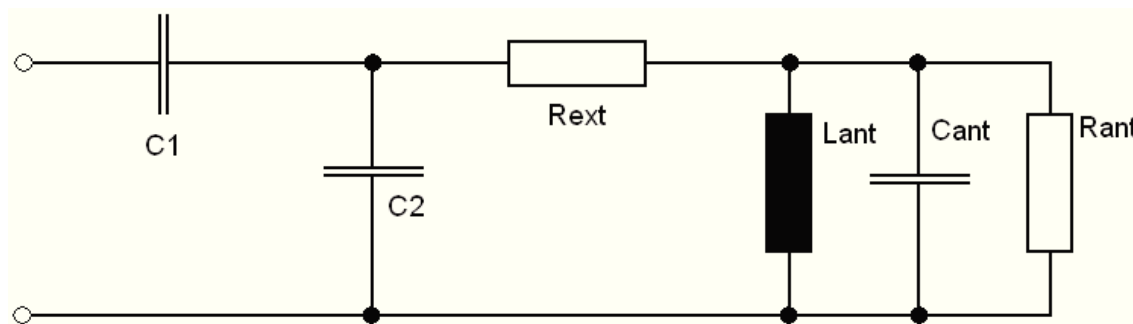
$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_o \sqrt{R_{in} R_{ant}}} \quad (32)$$

C_1 = ladící kondenzátor

R_{in} = vnitřní odpor čtecího obvodu = 50Ω

R_{ant} = odpor antény

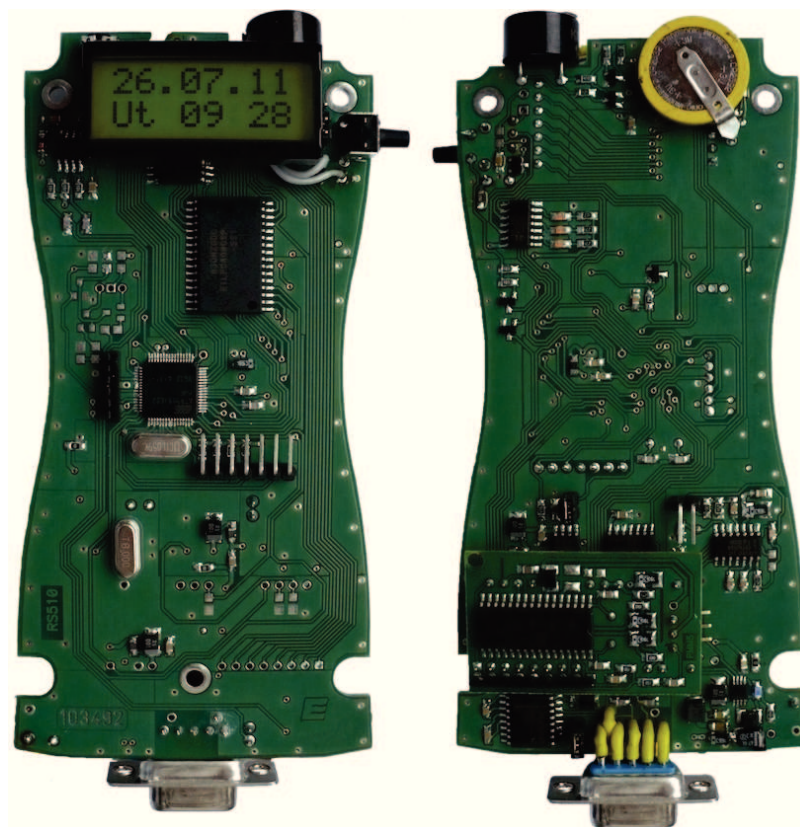
Po dosazení dostaneme hodnotu 255pF. Hodnotu C_2 je doporučeno rozdělit na dvě hodnoty a to C_2 pevný 100pF a regulovatelný C'_2 10-100pF.



Obrázek 33: Náhradní zapojení antény

6 Osazení a oživení DPS

Desku plošných spojů (DPS) jsem navrhoval v návrhovém systému ACCEL Tango PCB. DPS jsem musel tvarově přizpůsobit zvolenému pouzdru, do kterého bude elektronika umístěna. Ta je osazena na DPS o rozměrech 64×134 mm (obr. 34). Aby vznikl návrh desky s plošnými spoji s nízkou elektromagnetickou interferencí, použil jsem čtyři vrstvy. Vrstvy jsem uspořádal v tomto pořadí (sestupně): signálová vrstva, uzemňovací vrstva, výkonová vrstva, vrstva kontrolního signálu.



Obrázek 34: Deska plošného spoje (DPS)

Všechny otvory jsou prokoveny, po obou stranách je nanесena nepájivá maska. DPS je zhotovena z izolační laminátové desky typu FR4 s šířkou dielektrické vrstvy 1,5mm (tkanina ze skelných vláken sycená epoxidovou pryskyřicí potažená tenkou měděnou fólií tloušťky 0,036mm). Osazování a následné ožívování jsem prováděl po etapách.

6.1 První etapa

V první etapě jsem zkontroloval vzájemným proměřením, zda DPS neobsahuje případné výrobní vady. Poté jsem osadil všechny součástky tykající se napájecí části osazené DC-DC step-up konvertorem MAX1795. Při zátěžovém testu zdroje jsem ovšem nebyl schopen

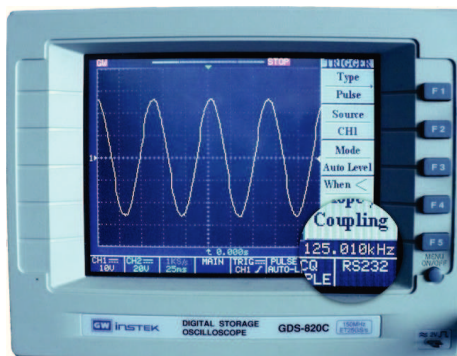
dosáhnout požadovaného proudu 170 mA. Hodnota proudu tedy zcela neodpovídala deklarovaným hodnotám výrobce (250 mA). Zdroj fungoval správně cca. do hodnoty 150 mA, poté již výstupní napětí kleslo pod požadovanou hodnotu 5V. Tento problém jsem se pokoušel vyřešit výměnou indukčnosti L9 za vyšší hodnotu $47\mu H$. Bohužel ani tato úprava nevedla k vyřešení problému. Z toho důvodu jsem obvod vyměnil za MAX1797 s garantovaným proudovým zatížením 1A. U tohoto typu jsem při zátěžovém testu zdroje dosáhl požadovaných hodnot.

6.2 Druhá etapa

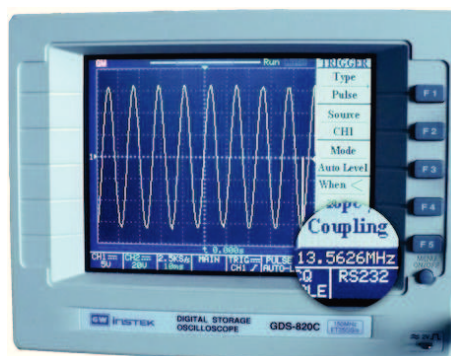
V druhé etapě proběhlo osazení procesoru. Z důvodu úspory místa jsem u procesoru použil pouzdro VQFP64, u kterého je rozteč mezi jednotlivými piny procesoru 0,8 mm. V tomto případě jsem musel dbát dvojnásob na přesnost a kvalitu pájení. Po osazení jsem pro jistotu proměřením zkontroloval zapojení jednotlivých pinů. Současně s procesorem jsem osadil obvod DS1232, který automaticky restartuje mikroprocesor po výpadku napájení. Další jeho funkcí je watchdog. Pomocí osciloskopu jsem zkontroloval zda funguje krystal procesoru a změřil měnící se úroveň resetu na pinu 5 obvodu DS1232. Následně jsem do procesoru nahrál zkušební program pomocí programátoru ISP. Tento programátor obsahuje budič sběrnice, který definuje logické úrovně výstupu, takže programátor funguje na LPT portech korektně a nemusí být připojen extrémně krátkým kabelem. Po nahrání se bohužel nerozběhl watchdog. Proto jsem znovu přezkontroloval zapojení všech pinů procesoru a hlavně zda není sběrnice ve zkratu vůči GND. Vše se jevílo v pořádku. Proto jsem znovu prošel celé zapojení. Zjistil chybu v zapojení pinu EA - External Access. Tento pin zajišťuje přístup do vnější paměti programu. Musí být zapojen na log. 1 v případě používání vnitřní paměti nebo na log. 0 v případě externí paměti programu. Používám vnitřní paměť, omylem jsem však EA zapojil na GND. Po nápravě této chyby se watchdog rozběhl, což byla známka toho, že je procesor správně osazen a připájen.

6.3 Třetí etapa

Ve třetí etapě jsem osadil obvod HTRC110, MAX202 a konektor CAN.9 Z90. Tento typ konektoru jsem volil z důvodu nutnosti osazení v DPS tak aby bylo možné samotný konektor vyhnout do cca. 15° vůči samotné DPS. Je to z nutnosti přizpůsobení se profilu pouzdra. Po osazení zmiňovaných obvodů a připojení antény jsem osciloskopem zkontroloval naladění antény na kmitočet 125kHz, signály Data In, Data Out a CKL na obvodu HTRC110 (obr. 35(a)). Průběh signálů se jevil v pořádku. Po přiložení čipu k anténě bylo na pinu Data Out patrné, že HTRC110 vysílá načtená data do procesoru a reaguje na přiložení čipu k anténě. To také potvrdila akustická signalizace snímače. Po připojení snímače k PC přes rozhraní RS232 jsem po spuštění jednoduché utility určené k importu dat z RS232 zjistil, že sériové číslo čipu se po načtení vypíše korektně. Tímto byla ověřena funkčnost obvodu HTRC110 a MAX202.



(a) Naladění antény na kmitočet 125 kHz



(b) Naladění antény na kmitočet 13,56 MHz

Obrázek 35: Naladění antén

6.4 Čtvrtá etapa

Ve čtvrté etapě jsem testoval displej a klávesnici. Po jejich osazení jsem opět nahrál upravenou verzi programu a testoval zobrazení jednotlivých kláves na displeji. Vše proběhlo bez problémů.

6.5 Pátá etapa

V páté etapě jsem osadil paměti RAM a EEPROM. Poté jsem opět nahrál rozšířenou verzi testovacího programu a otestoval obě paměti. Test hlásil OK.

6.6 Šestá etapa

V poslední etapě jsem testoval čtecí modul v pásmu 13,56MHz MF500. Jak už jsem v popisu tohoto modulu uváděl, je to již vyvinutá DPS s obvodem RC500. Tuto DPS jsem využil z toho důvodu, že rozměrově zapadá do pouzdra snímače a bylo by zbytečné navrhovat znovu podobné zapojení. Po nahrání upravené verze firmware a připojení antény jsem nejprve osciloskopem ověřil, zda je anténa naladěna na požadovaný kmitočet 13,56MHz (obr. 35(b)). Vše se jevílo v pořádku. Poté jsem jednotku opět připojil k PC a zkusil přiložit čip k anténě. Proběhlo vyčtení čísla čipu, které se vypsalo na obrazovku a ozval se akustický signál pieza, jenž potvrdil načtení dat z čipu.

Tímto byly testy hlavních obvodů dokončeny a celá DPS oživena.

7 Zabezpečení přenosu dat

Na tomto místě je vhodné nejprve poznamenat, že pro udržení souladu s terminologií této oblasti budeme poněkud v rozporu s přístupem v oblasti informační bezpečnosti používat výraz *identifikace* jak pro rozpoznání totožnosti subjektu, tak pro její bezpečné prokázání, čili autentizaci. Je-li identifikace doprovázena ještě kvalitní autentizací, je odlišováno vyjádřením její síly.

Za slabou identifikaci je považována ta, která je založena pouze na prostém oznámení identity subjektu bez dalšího bezpečného prokazování. Za bezpečnostní opatření přitom v souladu s běžnou praxí nepovažuje to, zda je oznámení prováděno prostřednictvím protokolu s neveřejným popisem.

Středně silná identifikace je taková, která je sice doplněna autentizační metodou, avšak její síla je nepříliš přesvědčivá. Typickým příkladem jsou karty MIFARE používající neveřejný algoritmus s délkou klíče 48 bitů.

Za silnou identifikaci je považována ta, která je doplněna přesvědčivou autentizací založenou na respektovaných kryptografických standardech. Příkladem může být metoda použitá k identifikaci čipu elektronického pasu, která se označuje jako aktivní autentizace.

Ačkoliv, čistě teoreticky, tomu tak být nemusí, ukazuje se, že vhodným kritériem pro rozdělení čipů pasivního RFID pro účely analýzy bezpečnosti je jejich pracovní frekvence.

Důvody jsou patrně historické, kdy první čipy pracovaly v pásmu LF a byly to v podstatě jen sériové paměti. Současně s tím, jak začali konstruktéři vylepšovat bezpečnostní vlastnosti čipů, docházelo zároveň k postupnému přechodu na výhodnější, i když technicky náročnější pásmo HF. To se postupně stalo synonymem pro funkčně i bezpečnostně vyzrálejší modely. Nejvyšší míru bezpečnosti můžeme obecně očekávat u čipů z kategorie karty s vazbou na blízko.

Poněkud paralelně k tomu všemu probíhal vývoj čipů pro pásmo UHF, jejichž prvořadým účelem bylo (a je) nahradit mechanické štítky s čárovými kódy něčím, co lze číst na větší vzdálenost (řádově metry) a lépe chránit před nepříznivými vlivy prostředí. [6]

7.1 Přenos dat u UNIQUE (EM4x02)

U čipů pro pásmo LF většinou sofistikované protokoly vyšších vrstev nenajdeme. Vše je často navrženo velmi účelově, tak, aby byly pokryty základní požadavky na předání několika jednoduchých příkazů a získání příslušných odpovědí. Čip typu EM4x02 představuje v podstatě jen sériovou paměť s kapacitou 64 bitů a konstantním obsahem. Dokonce nepodporují přenos dat od terminálu do čipu.

Obsah a struktura paměti je v tab. 4. Jakmile se čip dostane do správného pole čtečky, začne vysílat obsah své paměti coby 64b binární řetězec počínaje indexem 1 a konče pozicí 64. Tuto sekvenci pak opakuje, dokud pole čtečky nezmizí.

Pro vlastní přenos se stejně jako u čipů v pásmu HF používá zátěžová modulace. Obvykle je použit kód Manchester bez pomocné nosné. Toto kódové schéma však nemá přenos kryptograficky chránit. Stačí konstatování, že je veřejně k dispozici.

pozice bitu	+0	+1	+2	+3	+4	prezentace A	prezentace B
0	-	1	1	1	1	-	-
5	1	1	1	1	1		
10	$D_{0,0}$	$D_{0,1}$	$D_{0,2}$	$D_{0,3}$	R_0	$D_{1,3} \dots D_{0,3} \dots$	$D_{0,0} \dots D_{1,0} \dots D_{1,3}$
15	$D_{1,0}$	$D_{1,1}$	$D_{1,2}$	$D_{1,3}$	R_1	$D_{0,0}$	
20	$D_{2,0}$	$D_{2,1}$	$D_{2,2}$	$D_{2,3}$	R_2	$D_{3,3} \dots D_{2,3} \dots$	$D_{2,0} \dots D_{3,0} \dots D_{3,3}$
25	$D_{3,0}$	$D_{3,1}$	$D_{3,2}$	$D_{3,3}$	R_3	$D_{2,0}$	
30	$D_{4,0}$	$D_{4,1}$	$D_{4,2}$	$D_{4,3}$	R_4	$D_{5,3} \dots D_{4,3} \dots$	$D_{4,0} \dots D_{5,0} \dots D_{5,3}$
35	$D_{5,0}$	$D_{5,1}$	$D_{5,2}$	$D_{5,3}$	R_5	$D_{4,0}$	
40	$D_{6,0}$	$D_{6,1}$	$D_{6,2}$	$D_{6,3}$	R_6	$D_{7,3} \dots D_{6,3} \dots$	$D_{6,0} \dots D_{7,0} \dots D_{7,3}$
45	$D_{7,0}$	$D_{7,1}$	$D_{7,2}$	$D_{7,3}$	R_7	$D_{6,0}$	
50	$D_{8,0}$	$D_{8,1}$	$D_{8,2}$	$D_{8,3}$	R_8	$D_{9,3} \dots D_{8,3} \dots$	$D_{8,0} \dots D_{9,0} \dots D_{9,3}$
55	$D_{9,0}$	$D_{9,1}$	$D_{9,2}$	$D_{9,3}$	R_9	$D_{8,0}$	
60	C_0	C_1	C_2	C_3	0	—	—

Tabulka 3: Struktura řetězce vysílaného čipem

O interpretaci vysílaných dat se čip nestará, to je věcí čtecího terminálu. Z tab. 3 vidíme, že blok začíná devítibitovou hlavičkou, která je v celé posloupnosti jedinečná. To je dáno použitím sudých řádkových (R_0 až R_9) a sloupcových (C_0 až C_3) parit chránících datovou matici ($D_{i,j}$). Čtečka se chová tak, že po kontrole integrity (nejedná se ovšem o kryptografickou integritu, účelem je jen detekce chyb v přenosu) zpracuje datovou matici do podoby řetězce délky 5B, který coby sériové číslo čipu předá na svůj výstup. Odtud si ho vyzvednou další komponenty systému.

Prakticky jsme se setkali a setkat se můžeme se dvěma drobně odlišnými prezentacemi datových bitů, jak ukazuje tab. 3. Sestavené bajty pak budou v obou případech čteny tak, že směr zleva doprava (též od nižší adresy k vyšší) odpovídá v tabulce směru shora dolů. [10]

7.2 Přenos dat u MIFARE STANDARD

Čipy typu Mifare Standard nelze zařadit do kategorie smart card, jedná se spíše o „chytrější“ paměťová uložení. Komunikační rozhraní tohoto čipu je řešeno dle standardu ISO 14443-A. Bezkontaktní čipové karty dle ISO-14443-A jsou schopny komunikace s terminálem na vzdálenost až 100mm. Komunikace probíhá obvykle na kmitočtu 13,56MHz.

Ve směru od terminálu ke kartě probíhá komunikace 100% amplitudovou modulací ASK (Amplitude Shift Keying) s modifikovaným Millerovým kódem. V opačném směru je použita zátěžová modulace OOK (on-off keyed) s kódováním Manchester. Bitová rychlost je 106 kbit/sec. Samotná inicializace karty a antikolizní procedura probíhá dle standardu ISO-14443-3. Dále již probíhá komunikace pomocí proprietárního protokolu.

...
...
0x07	Klíč A, přístupová práva, Klíč B	Sektor 0x01
0x06	Datový blok	
0x05	Datový blok	
0x04	Datový blok	
0x03	Klíč A, přístupová práva, Klíč B	Sektor 0x00
0x02	Datový blok	
0x01	Datový blok	
0x00	UID,BCC, atd.	

Tabulka 4: Organizace paměti

Nejprve proběhne třicetná autentizace mezi terminálem a kartou během níž je ustanoven dočasný klíč. Tento klíč slouží k šifrování následné komunikace proprietárním symetrickým šifrovacím algoritmem Crypto. Po úspěšně provedené oboustranné autentizaci lze vykonávat potřebné příkazy.

Organizace paměti na čipu je řešena rozdělením do bloků po 16 Bytech. Určitý počet bloků je sdružován do tzv. sektoru. Počet přidružených bloků do jednoho sektoru je odlišný pro jednotlivé typy karet. U karty Standard o velikosti 1K, je paměť rozdělena na 16 sektorů po 4 datových blocích. U karty Standard o velikosti 4K, je prvních 32 sektorů po 4 datových blocích a následujících 8 sektorů po 16 datových blocích. Na začátku každého sektoru je jeden blok vyhrazen jako tzv. zavaděč sektoru viz. tabulka 4.

Zavaděč sektoru slouží pro uložení dvou klíčů A a B a nastavení práv k bloku. Práva k bloku jsou nastavena pomocí indexu, který určuje typ požadovaného klíče pro provedení daného příkazu, viz tabulka 5. Zvláštní význam má blok 0 ve kterém jsou pevně uloženy údaje od výrobce, jako je např. identifikátor karty UID (Unique IDentifier) a jeho kontrolní součet BCC (Bit Count Check), který vzniká provedením operace XOR nad všemi bity UID.

Klíče A a B mají shodnou délku 48 bitů. Pro každý sektor mohou být voleny odlišné klíče i odlišné nastavení způsobu řízení bloku, tím je zajištěno oddělení jednotlivých aplikací. Volné datové bloky mohou být datového nebo číselného typu. U datového bloku lze uložit řetězec o délce 16 Bytů. U číselného typu je dané číslo uloženo v bloku celkem třikrát, dvakrát v neinvertované podobě (2x4B) a jednou v invertované podobě 4B a poslední 4B slouží k uložení adresy, která může být použita jako ukazatel.

Továrně je klíč A nastaven na hodnotu A0A1A2A3A4A5 a klíč B na B0B1B2B3B4B5. Z bezpečnostních důvodů je vhodné továrně přednastavené klíče změnit. Počet příkazů u Mifare je poměrně strohý jedná se o příkazy umožňující čtení a zapisování do bloků

Index	Příkazy			
	čtení	zápis	inkrementace	dekrementace, přenos, obnovení
0	A / B	A / B	A / B	A / B
1	A / B	nelze	nelze	nelze
2	A / B	B	nelze	nelze
3	A / B	B	B	A / B
4	A / B	nelze	nelze	A / B
5	B	B	nelze	nelze
6	B	nelze	nelze	nelze
7	nelze	nelze	nelze	nelze

Tabulka 5: Možnosti nastavení přístupových práv bloku

inkrementaci a dekrementaci číselné hodnoty, obnovení původní hodnoty a přesun do jiného bloku.

Dle ISO-14443A probíhá komunikace ve směru od terminálu ke kartě 100% ASK (amplitúdová modulace) modulací s modifikovaným Millerovým kódem. V opačném směru je použita zátěžová modulace OOK (on-off keyed) s kódováním Manchester. Dle ISO-14443B probíhá komunikace ve směru od terminálu ke kartě 10% ASK modulací s kódováním NRZ-L.

Unipolární signál NRZ-L zobrazuje znak „1“ obdélníkovým impulsem šířky T a výšky V a znak „0“ mezerou šířky T výšky - V. Tento typ kódu se používá pro přenos informace na velmi krátké vzdálenosti. Jeho nevýhodou je nenulová hodnota stejnosměrné složky. V opačném směru je použita zátěžová modulace BPSK s kódováním NRZ-L. Bitová rychlost je u obou typů karet shodná tj. 106 kbit/sec.

Princip zátěžové modulace spočívá v tom, že anténa karty odebírá určité množství energie z elektromagnetického pole čtečky a poté, co dojde k přenosu energie na kartu, karta zpětně vyšle informaci, kterou čtečka vyhodnotí [5]

8 Firmware procesoru

V této kapitole je popsán firmware pro procesor. Zdrojový kód byl napsán v assembleru. Program je zaměřen pouze na otestování funkčnosti jednotlivých obvodů snímače. Celý text je pro lepší orientaci v programu doplněn o principiálně nejdůležitější části zdrojového kódu.

Jeho kompletní verze je uložena v příloze. Celý testovací firmware je rozdělen do několika procesů. Nejdůležitější části jsou popsány v jednotlivých kapitolách níže.

8.1 Inicializace aplikace - nastavení registrů

Po zapnutí celého zařízení dojde k restartování procesoru. Po zapnutí je zapotřebí provést nastavení některých registrů pro správnou funkci zařízení. To je provedeno ve funkci která je zavolána na začátku programu.

8.2 Test SRAM

Uvedený výsek kódu začíná naplněním celé jedné stránky RAM „*naplnramall*“. Paměť se přepíše na zvolené dané hodnoty (na každé adrese je jiná). Test RAM kontroluje, zda je na dané adrese ekvivalentní hodnota. Testuje se možnost chyby překrývání se dat (identifikace zkratu na adresní sběrnici nebo špatné adresovatelnosti RAM). Test „*naplnramallinvert*“ zapisuje na dané adresy inverzní hodnoty původní. To znamená, že na dané adrese s hodnotou např. „1“ se zapíše hodnota „FE“. Tímto se otestuje každý bit na dané adrese a vyloučí se možnost chybné buňky.

Názorněji: Nejdříve se každá banka naplní (na každé adrese rozdílnou hodnotou). Např. na adrese „0“ dosadím hodnotu „0“ u test invert hodnotu „FF“, na adrese „100“ dosadím hodnotu „1“ u test invert hodnotu „FE“ na adrese „200“ dosadím hodnotu „2“ u test invert hodnotu „FD“ atd. Tímto testem otestuji, že jde do byte zapsat hodnoty „0“ až „FF“ jednotlivé hodnoty postupně posouvám po jednotlivých blocích v každé bance a ověřuji zda je možno zapsat na každou adresu jednotlivé hodnoty v rozmezí „0-FF“.

```
naplnramall: mov  dptr,#0;                ; naplni jednu stranku pameti RAM
              mov  b,poc_str
              dec  b
in002:       inc  b
in001:       mov  a,b
              movx @dptr,a
              inc  dptr
              inc  b
              mov  a,dpl
              cjne a,#0,in001
              mov  a,dph
              cjne a,#0,in002
              ret
```

```

;*****
testramall:  mov  dptr,#0          ; otestuje jednu stranku pameti RAM
             mov  b,poc_str
             dec  b
in004:      inc  b
in003:      movx a,@dptr
             xrl  a,b
             jnz  testramall_C
             inc  dptr
             inc  b
             mov  a,dpl
             cjne a,#0,in003
             mov  a,dph
             cjne a,#0,in004
             jmp  testramall_end
             ;
testramall_C:mov  byt3,dph          ; prepis adresy chyby
             mov  byt4,dpl          ; ok
             setb chyba_RAM          ; priznak je nahozen pokud doslo k chybe pri testu RAM/
             FLASH
testramall_end:
             ret
             ;
;*****
naplnramall_inver:                ; naplni jednu stranku pameti RAM inverzni hodnotou
             mov  dptr,#0
             mov  b,poc_str
             dec  b
in006:      inc  b
in005:      mov  a,b
             cpl  a
             movx @dptr,a
             inc  dptr
             inc  b
             mov  a,dpl
             cjne a,#0,in005
             mov  a,dph
             cjne a,#0,in006
             ret
             ;
;*****
testramall_inver:                  ; otestuje jednu stranku pameti RAM s inverzni hodnotou
             mov  dptr,#0
             mov  b,poc_str
             dec  b
in008:      inc  b
in007:      mov  a,b
             push b
             cpl  a
             mov  b,a
             movx a,@dptr
             xrl  a,b
             pop  b
             jnz  testramall_i_C

```

```

        inc    dptr
        inc    b
        mov    a,dpl
        cjne   a,#0,in007
        mov    a,dph
        cjne   a,#0,in008
        jmp    testramall_i_end
    ;
testramall_i_C :
        mov    byt3,dph            ; prepis adresy chyby
        mov    byt4,dpl            ; ok
        setb   chyba_RAM           ; priznak je nahozen pokud doslo k chybe pri testu RAM
        /FLASH
testramall_i_end :
        ret

```

8.3 Test klávesnice

V programu klávesnice generuji na jednu stranu např. sloupce klávesnice log. 0. Vyslání probíhá vždy pro jeden konkrétní vodič a zjišťuji zda se log. 0 nepromítne na druhé straně podprogramu „klini“. Pokud zjistím, že došlo k promítnutí, otestuji pomocí „getkey“, zda se nejednalo pouze o zákmit. Pokud nedochází k zákmitům, tak se v rutině „skey“ uloží daný stav ve vazbě, na kterém sloupci se generovala log. 0. Poté v „klavok“ přiřazuji podle výsledného stavu řádku a sloupců daný kód k jednotlivým klávesám.

```

klavesnice:
    call klini            ; je stisknuta nejaka klavesa ?
    jb  luftik,st21       ; Luftik=1,= nic neni stisknuto
    call getkey           ; test na stabilitu klavesy
    jb  luftik,st21       ; Luftik=1, doslo ke zmene
    CALL CEKEJ
    call getkey           ; test na stabilitu klavesy
    jb  luftik,st21       ; Luftik=1, doslo ke zmene
    call skey             ; vycteni stisknute klavesy
    jb  LUFTIK,st21       ; stisknute 3 klavesy – konec
    call klavok           ; vyhodnocena klavesa v akodl
    jb  LUFTIK,st21       ; stisknute 3 klavesy – konec
st21:  mov    c, luftik
    ret

```

8.4 Procedura naladění obvodu HTRC110

Program začíná inicializační sekvencí „clr pDIN... setb pDIN“. Poté nastavím „clock“ do log. 0 a začínám generování dat. Inicializační sekvence je dána komunikačním protokolem obvodu HTRC110. V „Carry“ bitu mám nastaveno, zda budu posílat pouze příkaz, případně příkaz s daty. Pokud je nastaven „Carry“ bit, posílá se 8 bitů, v opačném případě 3 bity.

Dále proběhne vyslání vstupních dat uložených v „ACC“. Data se z „ACC“ přesunou pomocí „Carry“ bitu do „pDIN“ a tím se provede jejich vyslání. V rutině „příjem dat“

nejdříve provedu vynulování „ACC“. Pin „pDIN“ nastavím do log. 1. Do „R2“ nastavím délku přijímaných dat na 8 bitů. Poté uložím data z „pDOUT“ do „C“, kde rotují a přesunou se do „ACC“. Nakonec „pDOUT“ nastavím do log. 1 - klidový stav.

```

*****
; Vyslani ridiciho slova – vstupni data v ACC
; – pokud je nastaven Carry posila se 8 bitu jinak 3 bity

POSLI: clr pDIN          ; data log.0
      setb pDOUT         ; data log.1
      setb pSCLK         ; clock log.1 ; START
      nop
      setb pDIN          ; data log.1 ; konec inicializacni sekvence
      nop
      clr pSCLK          ; clock log.0

      mov R2,#8          ; pocet posilanych bitu
      jc POSLI1          ; test na pocet posilanych bitu
      mov R2,#3          ; pocet posilanych bitu

POSLI1: rlc A            ; bit do ASICu 1.MSB [ACC.7]
      mov pDIN,C         ; Nastaveni pinu data pomoci Carry bitu
      nop                ; clock: _ _ _ _
      setb pSCLK         ; hodinovy impuls start
      nop                ; data : _XXYYZZ
      nop
      clr pSCLK          ; hodinovy impuls end – clock v log. 0 = real mod
      djnz R2,POSLI1

      setb pDIN          ; Pin data pri necinnosti vzdy v log.1
      ret

;
;*****
; Prijem dat v Normal Mode (8 bity)
; – vystup v ACC

CTI:  mov A,#0
      setb pDIN          ; Pin data pri necinnosti vzdy v log.1
      mov R2,#8          ; clock: _ _ _ _
CTI1: setb pSCLK         ; hodinovy impuls start
      nop                ; data : _XXYYZZx
      nop
      mov C,pDOUT        ; ulozeni dat do C
      nop                ; data : _XXYYZZx
      nop
      rlc A              ; ulozeni C do acc
      clr pSCLK          ; hodinovy impuls end – clock v log. 0 = real mod
      djnz R2,CTI1

      setb pDOUT         ; Pin data pri necinnosti vzdy v log.1
      ret

```

8.5 Inicializace LCD displeje

Ovládání displeje je založeno na standardu HD44780 a je realizováno pomocí signálů RS, R/W, E a datovými signály DB0 až DB7. Aby bylo možno vypisovat požadované údaje na displej, je třeba nejprve provést jeho inicializaci. Ta je provedena ihned po startu zařízení. Inicializační procedura se skládá ze smazání displeje, zapnutí, nastavení pozice kurzoru a nastavení režimu komunikace. Displej je nastaven do módu osmibitového datového přenosu se dvěma řádky po osmi znacích o velikosti 5x7 bodů. Režim výpisu znaků je nastaven zleva doprava automaticky řadičem displeje. Zápis dat probíhá při řídicím signálu RS (cd ve zdrojovém kódu) nastaveném do log. 1, odesílání příkazu naopak log. 0. Pomocí „MODED“ se nastaví mód displeje. Příkaz „DSON“ slouží k zapnutí displeje, „DSOFF“ k vypnutí displeje. Pomocí „CLEAR“ se vymaže displej a nastaví se kurzor vlevo na první řádek. Příkazem „SVIT“ proběhne nastavení kurzoru na normal.

```
*****  
; Podprogram INITD inicializuje displej  
*****  
initd_2r : call V_disp      ; vyber chipselectu pro displej na sbernici  
          mov r4,#15  
ind1:     call ms2  
          djnz r4,ind1      ; cekam 30 ms  
clr cd  
          mov a,#MODED      ; DL=1  
          movx @DPTR,a  
          mov r4,#5  
ind2:     call ms2  
          djnz r4,ind2      ; cekam 10 ms  
  
          movx @DPTR,a  
          call ms2  
  
          movx @DPTR,a  
          call ms2  
  
          mov a,#MODED      ; N=1, F=0  
          movx @DPTR,a  
          call ms2  
          mov a,#DSOFF      ; displej off  
          movx @DPTR,a  
          call ms2  
          mov a,#CLEAR      ; Clear and Home  
          movx @DPTR,a  
          call ms2  
          mov a,#DSON       ; Displej on  
          movx @DPTR,a  
          call ms2  
          mov a,#SVIT       ; I=1,S=0  
          movx @DPTR,a  
          call ms2  
          setb CD  
          ret  
;
```

```

;*****
; Podprogram NASTAV nastavi displej
;*****
nastav: clr cd
call V_disp          ; vyber chipselectu pro displej na sbernici
    mov a,#MODED      ; DL=1
    movx @DPTR,a
    mov a,#DSOFF       ; displej off
    movx @DPTR,a
    call ms2
    mov a,#CLEAR       ; Clear and Home
    movx @DPTR,a
    call ms2
    mov a,#DSON        ; Displej on
    movx @DPTR,a
    call ms2
    mov a,#SVIT        ; I=1,S=0
    movx @DPTR,a
    call ms2
    setb CD
    ret

```

8.6 Přenos dat

Pro přenos uložených dat do počítače bylo zapotřebí vytvořit funkci obsluhující sériové komunikační rozhraní procesoru např. pro RS 232. Funkce je vytvořena tak, že přenesené číslo karty do počítače po rozhraní RS 232. Zdrojový kód pro přenos dat přes RS 232 je uveden níže.

V „TMOD“ nastavím režim timeru 0 (16bit) a 1 (8bit reload). Dále proběhne definice sériového kanálu na 8 datových bitů bez parity, 1 start a stop bit. Poté v „TH1“ přednastavím hodnotu pro reload timeru 1, pro danou přenosovou rychlost na výstupu. Já jsem použil konstantu pro standardní rychlost 9600 baudů pro krystal 11.592 MHz. Proto aby fungoval sériový kanál, musí být spuštěný timer 1. Pokud by nebyl spuštěný, nepřijde žádné přerušení.

Před vysláním čísla karty volám funkci pro výpočet CRC. V každém cyklu jsou z aktuální adresy v bufferu čísla karty přečtena data. Ta jsou zapsána do „SFR sbuf“, který se již sám postará o vyslání 1 byte, bit po bitu. Příznak „TI“ v log. 1 signalizuje, že je byte vyslán, vymaže příznak a mohu vyslat další.

```

;*****
; init registru pro komunikaci

MOV    TMOD,#INI_TMOD      ; nastaveni rezimu timeru 0(16bit) a 1(8bit reload)
mov     SCON,#01010000b    ; 8 dat.bit
MOV     TH1,#0fdh          ; konst.pro automat.naplneni TL1
MOV     TL1,#0fdh
setb    tr1                ; start timeru 1

;*****
INI_TMOD    EQU    00100001B    ; NASTAVENI REG. TMOD

```

```

;*****
; Podprogram POSLI posle 1 byte bit po bitu
;*****

POSLISK: MOV SBUF,A           ; vysli byte
          JNB TI,$            ; ceka dokud neni VYSLANO
          CLR TI              ; vynuluj TI
          ret

;*****
;*** VYSLANI CISLA KARTY ***

VYSLANI:  call soucet          ; crc posilaneho cisla karty
          MOV R0,#SAVE_BYTE
          MOV R1,#5            ; POCET BYTU PRO VYSLANI
PRVI:     MOV A,@R0
          call poslisk
          INC R0               ; PRESUN NA DALSI BYTE KARTY
          DJNZ R1,PRVI        ; POKUD NEJSOU VSECHNY VYSLANY TAK HOP
          RET

;*** VYPOCET KONTROLNIHO SOUCTU ***

SOUCET:   MOV R0,#SAVE_BYTE    ; BUFFER S CISEM KARTY
          MOV R2,#5            ; POCET BYTU
          MOV R1,#SAVE_BYTE+5
          MOV @R1,#0
SUM1:     MOV A,@R0
          ADD A,@R1
          MOV @R1,A
          INC R0
          DJNZ R2,SUM1
          RET

```

9 Závěr

Mým úkolem bylo navrhnout kompaktní, konkurenceschopné zařízení s důrazem na minimalizaci výrobních nákladů a cenovou dostupnost. Základním požadavkem na snímač bylo zvládnutí čtení čipů Unique (125kHz) a Mifare (13,56MHz). Proto bylo zapotřebí navrhnout čtecí obvody a antény pro oba typy čipů vhodné velikosti, odpovídající rozměrům použitého pouzdra snímače. Koncepce celého zapojení vychází z použití osmibitového procesoru Atmel AT89C51ED2. Z důvodu malých rozměrů pouzdra jednotky od kterého se také odvíjely rozměry plošného spoje jsem zvolil 64pinové pouzdro.

Deska plošného spoje byla mimo dalších obvodů osazena pamětmi typu SRAM, EEPROM, čtecími obvody pro oba výše požadované kmitočtové pásma a uživatelským rozhraním v podobě displeje a klávesnice. Pro vyčítání dat a komunikaci s PC rozhraním RS232. Potřeba napájení bez nutnosti použití externího zdroje byla vyřešena třemi napájecími tužkovými akumulátory typu AA umístěnými v pouzdře snímače.

Funkčnost zařízení, které jsem navrhnul a zkonstruoval, byla ověřena ve zkušebním provozu. V budoucnu je počítáno s rozšířením o další možné čtecí moduly, např. HID a o modulu rádiového komunikačního rozhraní pracujícího v pásmu 868 MHz. Firmware tohoto zařízení může být díky naddimenzovanému hardware v budoucnu kdykoli rozšířen o další nové funkce.

Celý projekt byl časově velmi náročný a to především z hlediska návrhu DPS. Ta byla několikrát upravována jak z důvodu chyb, které byly nalezeny v jednotlivých návrzích, tak na základě zkušebního provozu. Díky této práci jsem získal řadu zkušeností a postřehů, které, jak doufám, zúročím v mém současném zaměstnání.

10 Reference

- [1] *Microchip Antenna Circuit Design for RFID Applications* [online]. 2011. [cit. 11. 9. 2011]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00710c.pdf>.
- [2] *Datasheet obvodu BC847* [online]. 2000. [cit. 11. 9. 2011]. Dostupné z: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=BC847>.
- [3] *Datasheet obvodu HTRC110* [online]. 2010. [cit. 1. 9. 2011]. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/application_note/AN98080.pdf.
- [4] *Datasheet obvodu MAX1797* [online]. 2000. [cit. 11. 9. 2011]. Dostupné z: www.datasheetcatalog.org/datasheet/maxim/MAX1795-MAX1797.pdf.
- [5] *Čipové karty Mifare a jejich bezpečnost* [online]. Elektrotechnika, 2009. [cit. 12. 11. 2011]. Dostupné z: <http://elektrotechnika.cz/cz/download/cipove-karty-mifare-a-jejich-bezpecnost>.
- [6] *Krypto-World: Informační sešit GCUCMP. Č.6* [online]. 2008. [cit. 15. 8. 2011]. Dostupné z: <http://crypto-world.info/index2.php?vyber=casop10>.
- [7] *EMC v technické praxi IV: Omezování rušení v oblasti vysokých kmitočtů* [online]. 2012. [cit. 15. 1. 2012]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=31272.
- [8] *Metodika návrhu plošných spojů* [online]. Pandatron, 2012. [cit. 15. 1. 2012]. Dostupné z: http://pandatron.cz/?1035&metodika_navrhu_plosnych_spoju_ii_%96navrh_plosneho_spoje.
- [9] JERRY. *Trocha teorie o měření PSV (ČSV, SWR) na CB pásmu* [online]. 2005. [cit. 15. 8. 2011]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/cb16/psv.htm>.
- [10] KLÍMA, V. *Kryptologie pro praxi* [online]. 2011. [cit. 15. 1. 2012]. Dostupné z: http://www.cryptography.hyperlink.cz/2008/ST_2008_02_17_17.pdf.
- [11] *Design of MF CM500 Read / Write Antennas*. Philips, A-8101 Gratkorn, Austria, 1997.
- [12] PROCHÁZKA, T. *Antény - encyklopedická příručka*. 2. vydání. ISBN 80-86056-59-7.
- [13] PROCHÁZKA, T. *Antény pro systémy RFID* [online]. 2002. [cit. 12. 10. 2011]. Dostupné z: <http://www.elektrotechnika.cz/clanky/02022/index.html>.
- [14] RALL, B. – ZENKNER, H. – GERFER, A. *Trilogy of Inductors*. Würth Elektronik eiSos, 2. vydání, 2001. ISBN 978-3934350731.
- [15] RAO, K. V. S. *Antenna Design for UHF RFID Tags* [online]. 2006. [cit. 11. 9. 2011]. Dostupné z: http://www.ee.washington.edu/faculty/nikitin_pavel/papers/TranAntProp_2005-2006.pdf.

- [16] SWEENEY, P. J. *RFID for Dummies*. Indiana : Wiley Publishing, 2005. ISBN 978-0764579103.
- [17] VELYCHKO, V. *Jak RFID systém funguje* [online]. 2011. [cit. 1. 2. 2012]. Dostupné z: http://kmf.troja.mff.cuni.cz/vitaha/Most/Web/What_is_RFID_cz.html.

Seznam příloh

Obsah

A	Seznam součástek	III
B	Rozmístění součástek	V
B.1	Rozmístění součástek TOP	VI
B.2	Rozmístění součástek BOT	VII
C	Vrstvy	VIII
C.1	Vrstva TOP	IX
C.2	Vrstva GND	X
C.3	Vrstva PWR	XI
C.4	Vrstva BOT	XII
D	Schéma zapojení	XIII
E	Úprava pouzdra	XV

Obsah přiloženého CD

- Diplomová práce ve formátu PDF
- Diplomová práce ve formátu \LaTeX
- Přílohy ve formátu PDF
- Zdrojový kód firmware ve formátu ASM, HEX
- Schéma zapojení ve formátu SCH
- Fotodokumentace ve formátu JPG
- Nákres upraveného pouzdra snímače ve formátu DFX